



REGIONE
PIEMONTE
Associazione
Gruppi
Speleologici
Piemontesi


Società Speleologica Italiana

QUADERNI DIDATTICI

CLUB ALPINO ITALIANO



Con il patrocinio della
Commissione Centrale per la Speleologia

Erga  edizioni

3

CHIARA SILVESTRO

IL RILIEVO DELLE GROTTA

QUADERNI DIDATTICI della
Società Speleologica Italiana

Coordinamento editoriale:

Giovanni Badino, Carlo Balbiano, Natalino Russo

Per entrare in contatto con gli Autori rivolgersi alla
sede della Società Speleologica Italiana
Via A. Zamboni, 67 - 40127 - Bologna

© Società Speleologica Italiana

Si fa espresso divieto di riprodurre in qualsiasi
maniera, anche parzialmente,
il contenuto dei Quaderni.

Edizione riservata
realizzata nel mese di ottobre 1999 da
ERGA EDIZIONI
Via Biga 52 r. - 16144 Genova
Tel. 010.8328441 - Fax 010.8328799
www.erga.it

*Quaderni didattici della
Società Speleologica Italiana*

- 1 Geomorfologia e speleogenesi carsica**
Leonardo Piccini
- 2 Tecnica speleologica**
Angelo De Marzo, Giuseppe Savino
- 3 Il rilievo delle grotte**
Chiara Silvestro
- 4 Speleologia in cavità artificiali**
Giulio Cappa
- 5 L'impatto dell'uomo sull'ambiente di grotta**
*Mauro Chiesi, Gianluca Ferrini,
Giovanni Badino*
- 6 Geologia per speleologi**
Valentina Malcapi, Leonardo Piccini
- 7 Storia della speleologia**
Franco Utili
- 8 Il clima delle grotte**
Carlo Balbiano

QUADERNI DIDATTICI
DELLA
SOCIETÀ SPELEOLOGICA ITALIANA

3

Chiara Silvestro
IL RILIEVO DELLE GROTTA

Con illustrazioni di Maria Dematteis

Erga  *edizioni*

PRESENTAZIONE

E' con vivo piacere che la Regione Piemonte presenta nell'ambito di una collana edita dalla Società Speleologica Italiana un contributo nato nell'ambito della speleologia regionale piemontese.

La collaborazione con l'associazionismo speleologico trova in questo scritto una espressione di alto valore scientifico e didattico ed è per noi motivo di particolare soddisfazione che sia proprio questo il contributo piemontese nell'ambito alle attività divulgative nazionali.

L'importanza della attività speleologica in Piemonte può essere esemplificata da due fatti: il primo è che la nostra regione ospita il più grande complesso carsico delle Alpi, il secondo che una buona parte delle popolazioni del Piemonte meridionale si disseta con acque di provenienza carsica.

Benvenute sono quindi tutte le attività che, in modo rigoroso e scientifico, ci permettono di aumentare la nostra conoscenza del territorio e la sua possibile fruizione.

Ettore Racchelli
Assessore al Turismo, Regione Piemonte

INDICE

	pag.
1. Cenni di cartografia	1
1.1. La rappresentazione di Gauss	1
1.2. La cartografia ufficiale italiana.....	2
1.3. I sistemi di riferimento nazionale ed europeo.....	4
2. Le coordinate di un punto sulla carta	5
3. Cosa significa fare il rilievo topografico	12
4. Glossario	13
5. Gli strumenti	14
5.1. La bussola	14
5.2. L'inclinometro.....	14
5.3. La fettuccia metrica	14
5.4. Di cos'altro si compone la trousse da rilievo.....	14
6. Il rilievo esterno	15
7. Il rilievo interno	15
7.1. Acquisizione dei dati	17
7.2. Elaborazione e analisi dei dati	18
7.3. La resa grafica.....	19
8. La squadra di rilevamento: composizione e modalità operative	21
8.1. Come procede la squadra.....	21
9. Precisione del rilievo	22
10. L'aiuto offerto dall'informatica	22
Bibliografia	23
Appendice 1	24
Appendice 2	26

1. CENNI DI CARTOGRAFIA

Per rappresentare l'irregolare superficie fisica della terra ed i manufatti di origine antropica viene utilizzata, come superficie di riferimento sulla quale proiettare tutti i punti significativi del territorio, la superficie del *geoide*. Si tratta di una superficie molto complessa, tale da risultare in ogni punto della terra perpendicolare alla direzione della verticale materializzabile mediante un filo a piombo.

La complessità della formulazione matematica del geoide, dovuta al fatto che in essa figurano grandezze non solo geometriche ma anche fisiche (ad esempio la densità interna del globo), ha portato alla definizione di altre superfici di riferimento che approssimino il geoide, ma godano di espressioni matematiche più semplici.

In cartografia viene usualmente utilizzata la superficie dell'*ellissoide*.

Nella costruzione della cartografia di un territorio si procede dapprima alla determinazione della posizione di un limitato numero di punti (*vertici trigonometrici*), definendo le loro longitudini (λ) e latitudini (ϕ), con elevata precisione. La distanza media tra i vertici della rete italiana è di circa 20 km, ossia un punto ogni circa 300 km², corrispondenti a circa quattro vertici ogni Foglio in scala 1:100.000.

L'Istituto Geografico Militare (IGM), è l'Ente che ha il compito di provvedere alla realizzazione e alla gestione della rete geodetica nazionale.

1.1. La rappresentazione di Gauss

La cartografia ufficiale italiana si avvale della rappresentazione di Gauss. Essa si può immaginare come derivata dalla proiezione dei punti dell'ellissoide di riferimento dal suo centro su una superficie cilindrica tangente a un meridiano (*meridiano centrale*). Data la similitudine con la proiezione cilindrica, la rappresentazione di Gauss viene definita *cilindrica modificata o pseudocilindrica*.

La cartografia che ne deriva è *conforme*, cioè gli angoli misurati sulla carta corrispondono perfettamente a quelli misurati sul terreno;

le lunghezze invece risultano deformate.

In figura 4 è riportata una rappresentazione del reticolo geografico, ovvero il complesso di linee che rappresentano le trasformate di meridiani e paralleli. Il meridiano centrale, in quanto tangente al cilindro, non subisce alcuna deformazione, che invece cresce rapidamente a mano a mano che ci si allontana dal centro.

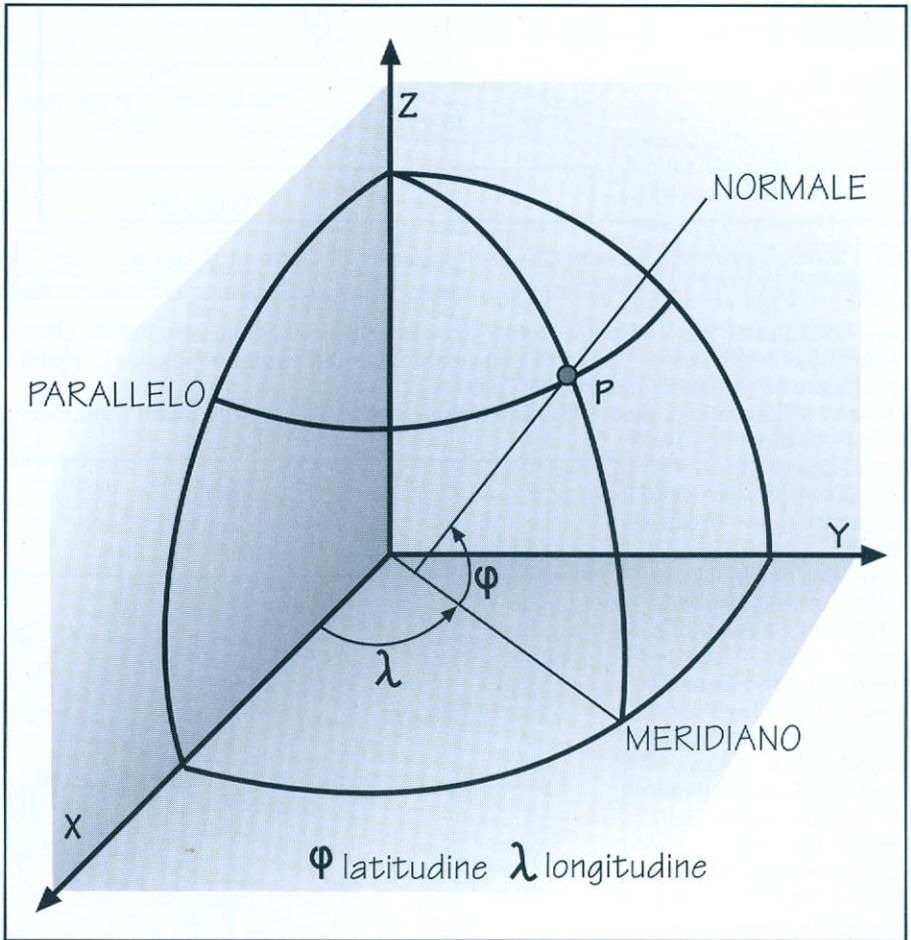


Fig. 2 Le coordinate geografiche di un punto sulla superficie terrestre.

Per contenere le deformazioni, le rappresentazioni cartografiche limitano l'estensione del *fuso* cioè della porzione di ellissoide compresa tra due meridiani.

Questo tipo di rappresentazione, è impiegata dal sistema UTM (Universale Trasversa di Mercatore), che è la base cartografica mondiale. I fusi sono assunti di ampiezza 6°; l'antimeridiano di Greenwich è il meridiano fondamentale: si individuano così 60 fusi.

1.2. La cartografia ufficiale italiana

Proposta nel 1940 dal Boaga, utilizza la rappresentazione di Gauss, ma prevede unicamente l'utilizzo di due fusi (fuso Ovest e fuso Est), coincidenti con i fusi 32 e 33 del sistema UTM e aventi i meridiani centrali posti rispettivamente a 9° Est e 15° Est di Greenwich.

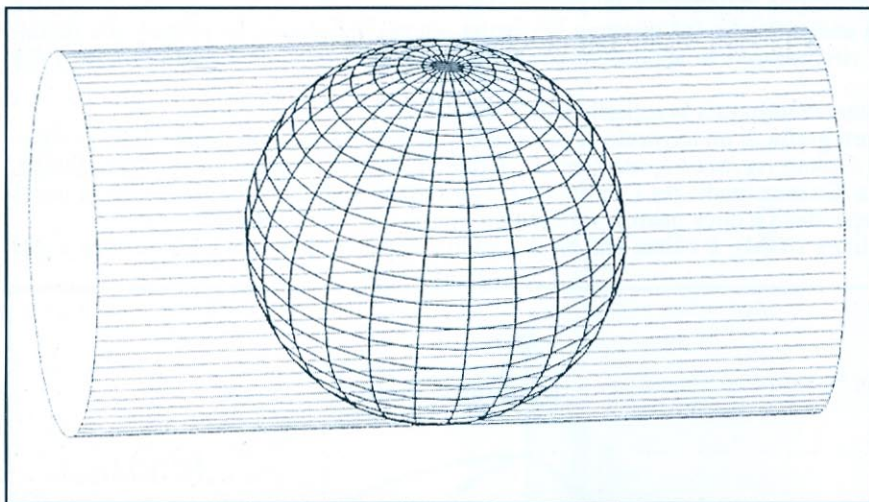


Fig.3 Schematizzazione del concetto di proiezione cilindrica: la sfera è all'interno del cilindro e ad esso tangente.

Come *punto di emanazione* (luogo geometrico in cui la normale all'ellissoide e la verticale, intesa come linea di forza del campo gravitazionale terrestre, coincidono) per il calcolo delle coordinate geografiche di tutti i vertici della rete geodetica nazionale, fu assunto il vertice di Roma M. Mario (sistema *Roma 40*). E' bene sottolineare che il meridiano passante per M. Mario è l'asse origine

delle longitudini per il sistema Roma 40: a sinistra si leggono longitudini Ovest, a destra Est. Per le regioni che si trovano a cavallo di detto meridiano (ad esempio Veneto, Lazio) è quindi indispensabile specificare se si tratta di longitudine Ovest o Est.

La carta d'Italia è in scala 1:100.000 e si compone di 285 fogli, ottenuti suddividendo il territorio in porzioni comprese tra meridiani distanti tra loro 30' e paralleli con differenze di 20' di latitudine.

In questa scala 1 mm sulla carta corrisponde a 100 m nella realtà. Le curve di livello (*isopse*) sono equidistanti 50 m. I fogli sono individuati da un numero arabo (1,2... 285).

Ogni foglio è suddiviso in quattro *quadranti* uguali. Essi danno una rappresentazione in scala 1:50.000, cioè 1 mm sulla carta corrisponde a 50 m sul terreno. Le isopse sono rappresentate a intervalli di 25 m. I quadranti sono individuati da un numero romano da I a IV, che li localizza all'in-

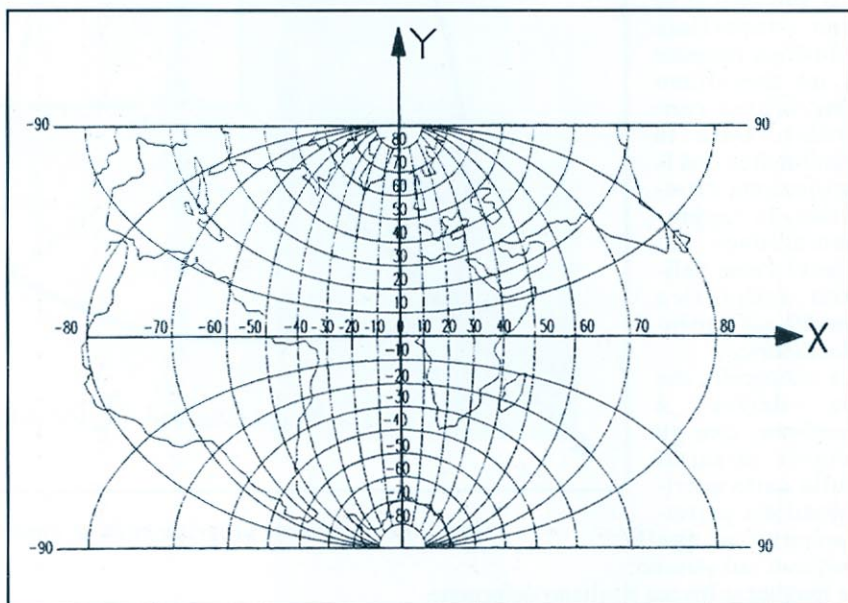


Fig.4 Il reticolo geografico piano, con rappresentazione di meridiani e paralleli secondo la proiezione di Gauss.

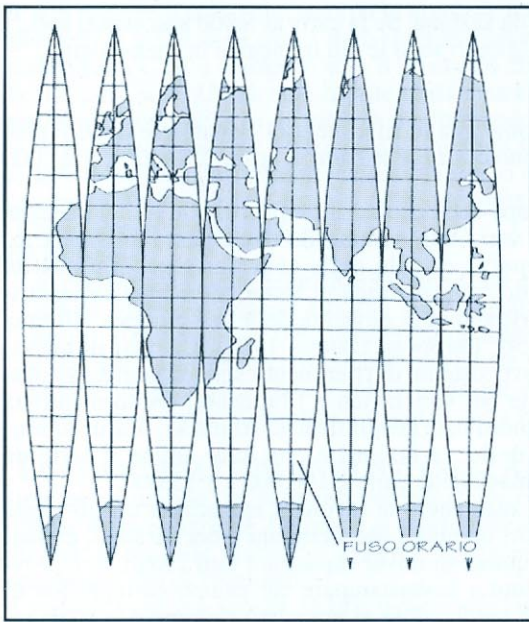


Fig. 5 La suddivisione in fusi adottata dal sistema UTM

terno del foglio partendo in alto a destra e procedendo in senso orario.

Il quadrante è suddiviso a sua volta in quattro parti denominate *tavolette*, per cui ciascun foglio si compone di 16 tavolette. La scala di rappresentazione è 1:25.000, ossia a 1 mm sulla carta corrispondono 25 m nella realtà. Le isoipse sono equidistanti 25 m, quelle più marcate sono a intervalli di cento metri mentre talvolta sono rappresentate curve di livello ausiliarie a intervalli di cinque metri. La tavoletta è individuata dalla posizione cardinale all'interno del quadrante (NE, NW, SE, SW) e dal nome della località più importante in essa contenuta. Così ad esempio la tavoletta Certosa di Pesio è individuata da 91 IV SE, cioè si trova all'interno del foglio n. 91, nel IV quadrante ed all'interno di questo, in basso a destra. Sono state fatte tre edizioni delle tavolette, distinguibili dai colori: monocolore nero; a tre colori nero, bistro e azzurro; a cinque colori nero, bistro, azzurro, verde, rosso arancio. È fondamentale specificare a quale edizione ci si riferisce per non commettere errori: tavolette di edizioni diverse non sono tra loro coincidenti.

La scala della tavoletta è senza dubbio più indicata rispetto alle precedenti ai fini speleologici, perché fornisce un dettaglio maggiore.

Alcune Regioni hanno curato la redazione della Carta Tecnica Regionale (CTR). Questa rappresentazione è molto dettagliata essendo la scala 1:10.000 o 1:5.000. Si tratta anche in questo caso di una rappresentazione conforme, cioè si mantengono gli angoli, ma risultano deformate le distanze. Nelle ordinarie operazioni topografiche tali differenze sono trascurabili.

I margini delle CTR sono anch'essi trasformati di archi di meridiani e paralleli, così come per le altre carte del territorio nazionale. La carta di riferimento che "raccolge" tutte le sezioni è quella in scala 1:50.000, denominata anch'essa *foglio*, mentre ogni tavola al 10.000 (5.000) è detta *sezione* ed è 1/16 (1/32) del foglio. Le sezioni sono individuate da sei cifre xxxyyz, dove: xxx è il numero del foglio scala 1:50.000;

yy sono le due cifre che individuano la posizione della sezione all'interno del foglio (da 01 a 16); z indica la posizione dell'e-

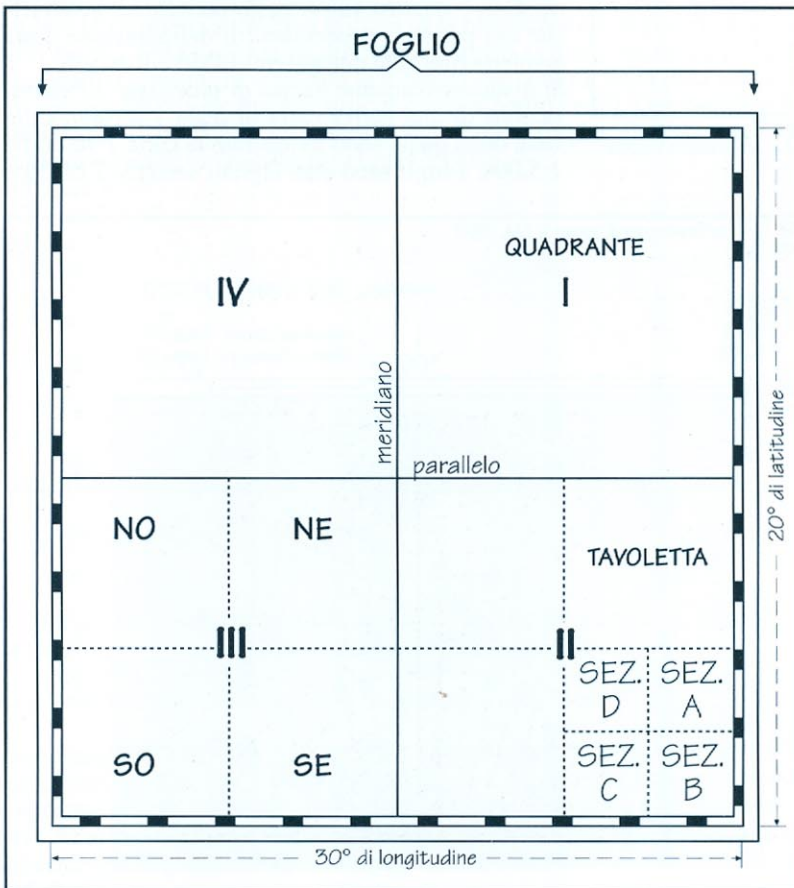


Fig. 6 Il foglio scala 1:100.000 con le suddivisioni in quadrante, tavoletta e sezione.

ventuale rappresentazione in scala 1:5.000 all'interno della sezione. Se la carta al 5.000 non esiste, $z=0$. Trattandosi di carte di grande precisione e dettaglio oggi giorno sono le più impiegate in speleologia.

1.3. I sistemi di riferimento nazionale ed europeo

Quando nacque la cartografia italiana, furono previsti come assi di riferimento l'Equatore e il meridiano passante per Roma M. Mario. Su questo riferimento furono costruite le carte in scala 1:100.000, 1:25.000 e parte di quelle 1:50.000.

Nel 1950, in seguito a un'intesa tra le Nazioni dell'Europa occidentale, si unificarono le reti geodetiche dei vari Stati, assumendo come punto di emanazione per il calcolo delle coordinate geografiche un vertice in prossimità di Bonn, all'incirca baricentrico rispetto alla globalità delle reti europee (sistema ED50: European Datum, 1950). Gli assi di questo nuovo sistema di riferimento sono il meridiano passante per Greenwich e l'Equatore. Di conseguenza le coordinate geografiche di Roma M. Mario subirono delle variazioni e con esse anche il sistema Roma40 delle carte 1:100.000 e 1:25.000.

Per mantenere le tavolette inquadrature tra gli stessi valori nominali dei meridiani e dei paralleli, evitando quindi di dover riquadrare tutti i fogli, si è provveduto a sovrastampare sul campo cartografico di ogni tavola, oltre al reticolato chilometrico nazionale (Roma40), anche il reticolato derivante dall'ED50, chiamato *reticolato chilometrico UTM*.

Per questa ragione ai vertici del quadro carta sono riportati i quattro valori delle coordinate geografiche dei paralleli e meridiani di delimitazione della tavoletta riferiti ai due sistemi ED50 e Roma40.

Si è successivamente deciso di procedere all'elaborazione di una nuova carta in scala 1:50.000, sulla base della quale sono inquadrature le carte 1:10.000 e 1:5.000. I fogli sono stati tagliati secondo l'ED50 e

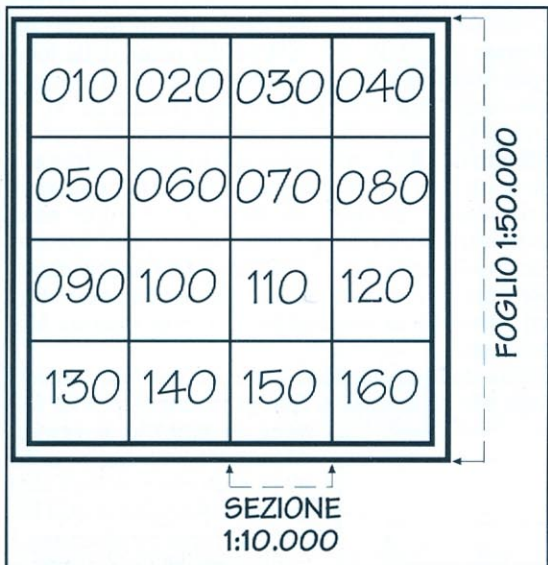


Fig. 7 Il foglio in scala 1:50.000 e la suddivisione in sezioni 1:10.000.

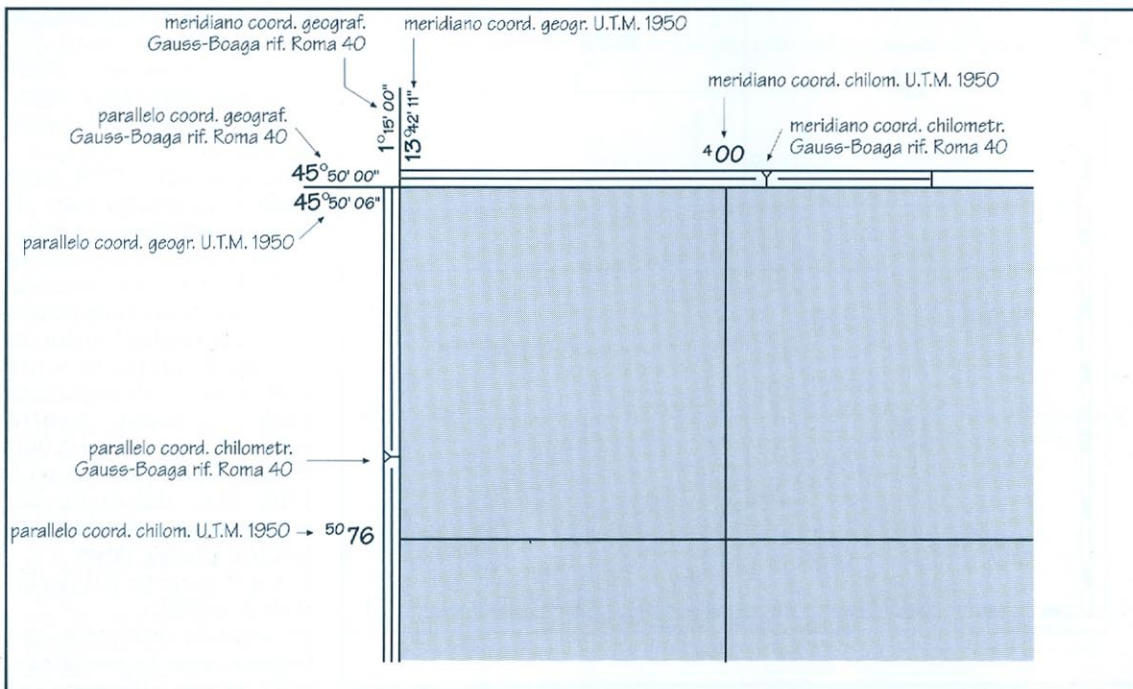


Fig. 8 Particolare del vertice di una tavoletta 1:25.000. Si notino i quattro valori delle coordinate geografiche al vertice, che afferiscono ai due sistemi di riferimento.

per non perdere il collegamento con le tavolette basate invece sul riferimento nazionale, oltre al reticolato chilometrico UTM su di esse è stato stampato anche il precedente reticolato chilometrico nazionale.

Peraltro sulla CTR è stampato solo il reticolato chilometrico nazionale, mentre le coordinate geografiche a bordo carta sono UTM, cioè riferite al sistema ED50. Ne deriva che leggendo sulla carta (in cornice) le coordinate geografiche di un punto e trasformandole in x e y, non si ottengono le coordinate che si leggono per lo stesso punto sul reticolato chilometrico stampato.

Le differenze tra i due sistemi variano da foglio a foglio, per cui in ogni tavola vengono riportati, in un riquadro in basso a destra, i valori delle correzioni da apportare alle letture per passare dal sistema UTM al Gauss-Boaga e viceversa.

Riassumendo:

- le coordinate geografiche (φ e λ) della CTR sono omogenee con quelle della carta scala 1:50.000, in quanto riferite al sistema ED50 e sono rilevabili a bordo carta. Non sono omogenee con φ e λ delle carte 1:100.000 e 1:25.000, perché queste ultime sono costruite sul sistema Roma40.
- il reticolato chilometrico (quadrettatura) delle CTR non coincide con il reticolato UTM perché riferito al sistema Roma40. Quindi alle coordinate chilometriche desunte dal reticolato della carta vanno sommate le costanti riportate a margine della carta stessa.

2. LE COORDINATE DI UN PUNTO SULLA CARTA

Come già si intuiva nei paragrafi precedenti, le coordinate di un punto sulla carta sono di due tipi: *geografiche* e *chilometriche*. Le prime si esprimono in gradi, primi e secondi e indicano la latitudine e la longitudine; le seconde in metri e indicano la distanza del meridiano e del parallelo del punto di interesse rispetto agli assi di riferimento.

Di seguito vengono fornite alcune indicazioni per leggere le coordinate di un punto P sulle tavolette e sulle CTR

Tavoletta 1:25.000. Coordinate geografiche. Al margine della carta, con barre bianche alternate a barre bianconere è indicata la suddivisione in primi, pari a 1/60 di grado. A questa frazione di grado è quindi associato un segmento di lunghezza misurabile nota, ossia esiste una relazione (proporzione) tra i 60" di grado e i centimetri attraverso la carta (è la lunghezza del segmento bianco o nero). Il punto ubicato sulla carta ha una certa distanza in centimetri rispetto al meridiano/parallelo a esso più vicino, misurabile con un righello (in sostanza si misura la distanza del punto P dalla retta verticale e orizzontale, tracciate a partire dalla suddivisione in centesimi di grado a bordo carta). Con questi valori si imposta una proporzione, che fornisce i centesimi di grado da aggiungere (togliere) alle coordinate individuate dal meridiano e parallelo passanti in prossimità del punto P (fig. 9).

$$a=5.3 \text{ cm} = 60''$$

$$b=7.4 \text{ cm} = 60''$$

$$c=1 \text{ cm}$$

$$d=1.8 \text{ cm}$$

$$60'' : a = P_x : c$$

$$60'' : 5.3 = P_x : 1$$

$$P_x = 60'' \cdot 1/5.3 = 11.3''$$

da cui:

$$\lambda_P = 40^\circ 48' 11.3''$$

Analogamente si procede per la determinazione della latitudine:

$$60'' : b = P_y : d$$

$$60'' : 7.4 = P_y : 1.8$$

$$P_y = 60'' \cdot 1.8/7.4 = 14.6''$$

da cui:

$$\varphi_P = 44^\circ 11' 14.6''$$

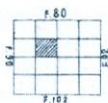
Le coordinate così calcolate sono coordinate Gauss-Boaga.

Coordinate chilometriche. La quadrettatura stampata sulla carta ha un passo costante di 4 cm, cioè di 1000 m sul terreno. Il reticolato è quello UTM. In basso a sinistra si legge una tabellina nella quale sono riportate le coordinate chilometriche dei vertici della carta, da cui si risale alle coordinate dei quattro vertici del quadrato 4 cm x 4 cm in cui ricade il punto da localizzare. Con una proporzione analoga alla precedente, dove però al posto dei centesimi di grado ci sono centimetri e metri, si ricavano le coordinate del punto (fig. 9).

$$e=f=4 \text{ cm}$$

$$g=0.6 \text{ cm}$$

$$h=3.3 \text{ cm}$$



Certosa di Pesio

F.° 91 della Carta d'Italia

Fig. 9 Tavoletta 1:25.000.
Determinazione delle coordinate geografiche e chilometriche.

CERTOSA DI PESIO

Le coordinate dei vertici di questa carta nel reticolato italiano (proiezione Gauss-Boaga, ellissoide internazionale, orientamento a M. Mario 1940) sono le seguenti:

FUSO OVEST

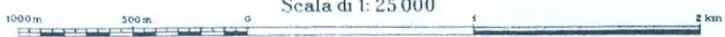
N. O. } E= 1386508	N. E. } E= 1396486
} N= 4900694	} N= 4900528
S. O. } E= 1386347	S. E. } E= 1396340
} N= 4891439	} N= 4891273



387000m N 88 89 90 91 (Tenda)

4° 49'

Scala di 1: 25 000



← a

RETICOLATO CHILOMETRICO
NELLA PROIEZIONE CONFORME
UNIVERSALE TRASVERSA MERCATORE

Sistema U. T. M.

(Dati europei 1950)

ORIGINE DELLE COORDINATE :

Coordinate Est : il meridiano centrale del fuso con valore convenzionale + 500000 m

„ Nord : l'equatore.

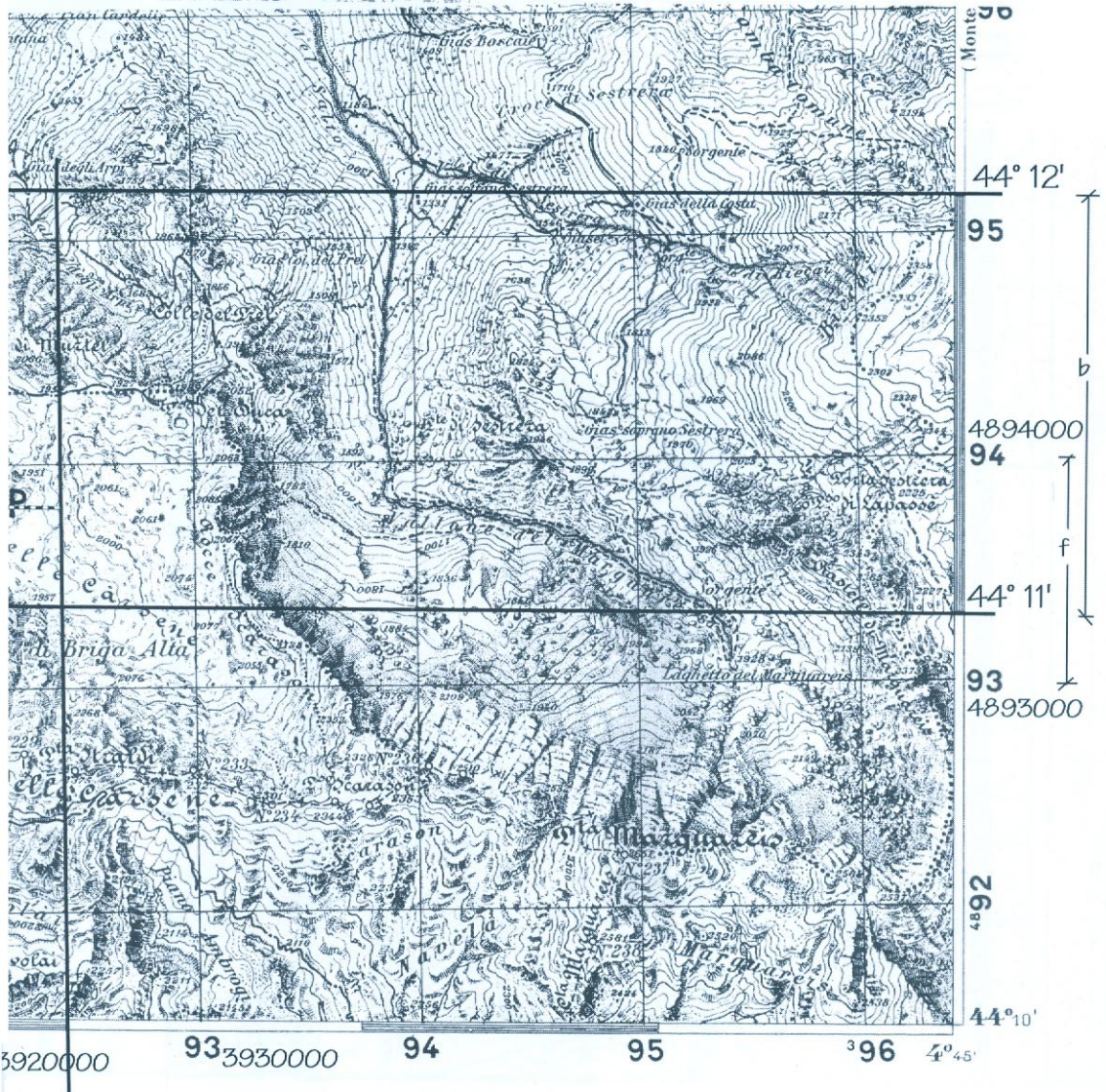
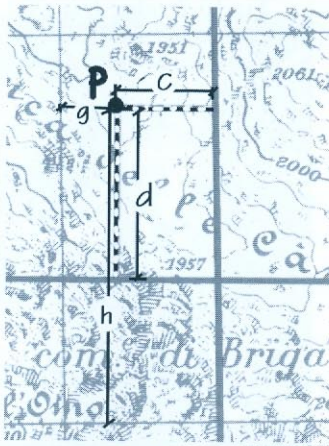
La presente carta topografica appartiene alla

ZONA 32 T

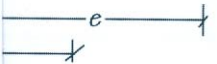
ed ai quadrati di 100 km di lato

LQ-LP

dettaglio zona centrale



4° 48'



Longitudine di Roma M. Mario da Greenwich = 12°27'08",40

REGIONE PIEMONTE

SERVIZIO CARTOGRAFICO

CTR

CARTA TECNICA REGIONALE

SEZIONE N° **244010**

PUNTA MARGUAREIS

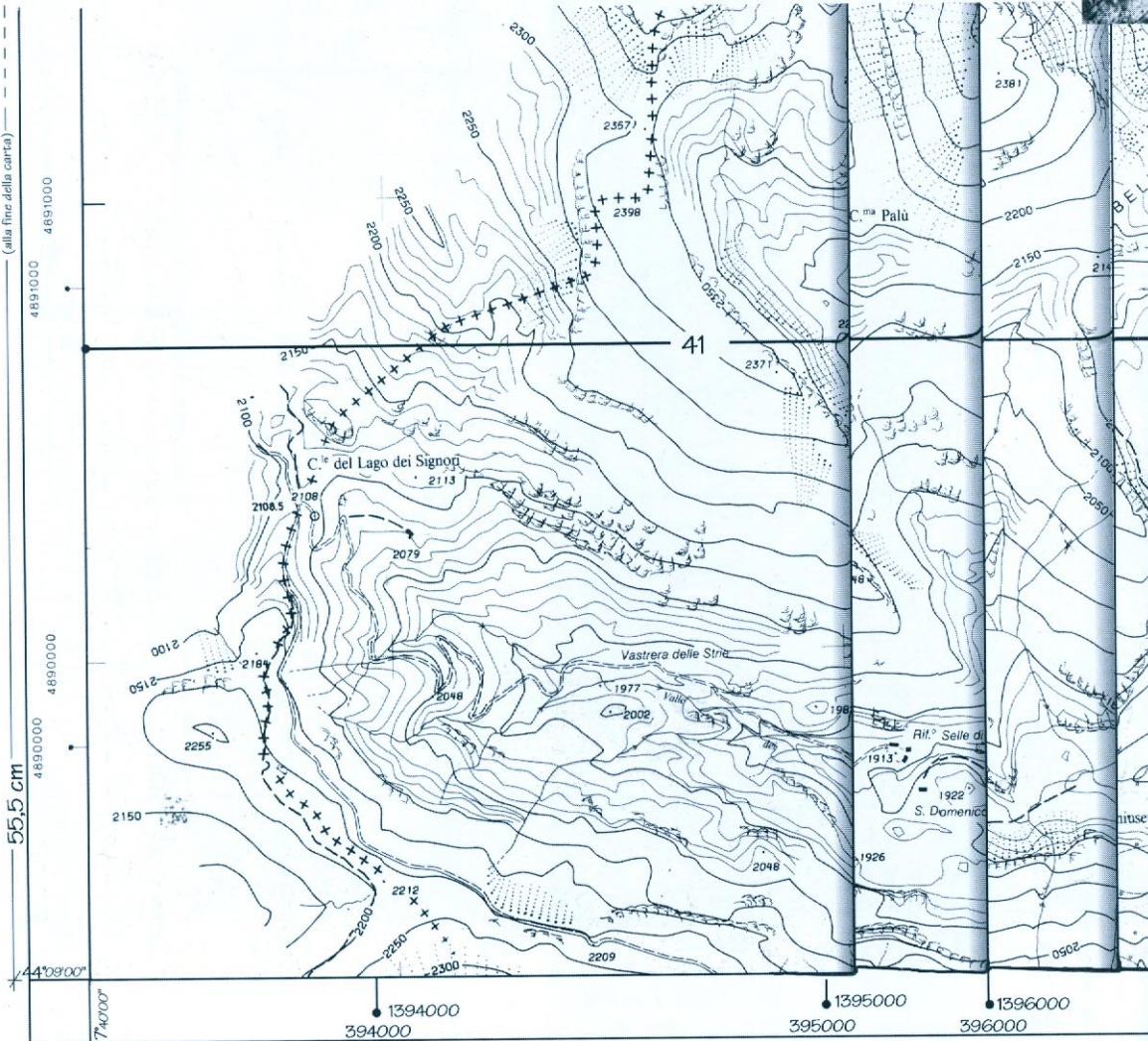
Scala 1 : 10 000



L'equidistanza tra le curve di livello è di m 10 (per le curve di livello ausiliarie, a tratti, è di m 5)
L'altimetria, espressa in metri, è riferita al livello medio del mare (Mareografo di Genova)

riproduzione non in scala: ridotta all'80% dell'originale

Fig.10 Sezione 1:10.000.
Determinazione delle coordinate geografiche e chilometriche



COORDINATE DEI VERTICI DELLA SEZIONE						
VERT.	GEOGRAFICHE		GAUSS-BOAGA		U.T.M.	
	LATIT	LONGIT	E	N	E	N
NO	44° 12' 00"	7° 40' 00"	1393402	4894859	393456	4895041
NE	44° 12' 00"	7° 45' 00"	1400061	4894755	400115	4894936
SO	44° 09' 00"	7° 40' 00"	1393312	4889306	393366	4889467
SE	44° 09' 00"	7° 45' 00"	1399977	4889201	400030	4889383

I vertici sono definiti in coordinate geografiche ED 1950. Il reticolato Gauss-Boaga è riferito al Fusso Ovest. Il reticolato U.T.M. è riferito al Fusso 32 ed indicato a margine col segno convenzionale \triangle E. - .999946
 Trasformazione da coordinate Gauss-Boaga a sistema U.T.M. : \triangle E : 182

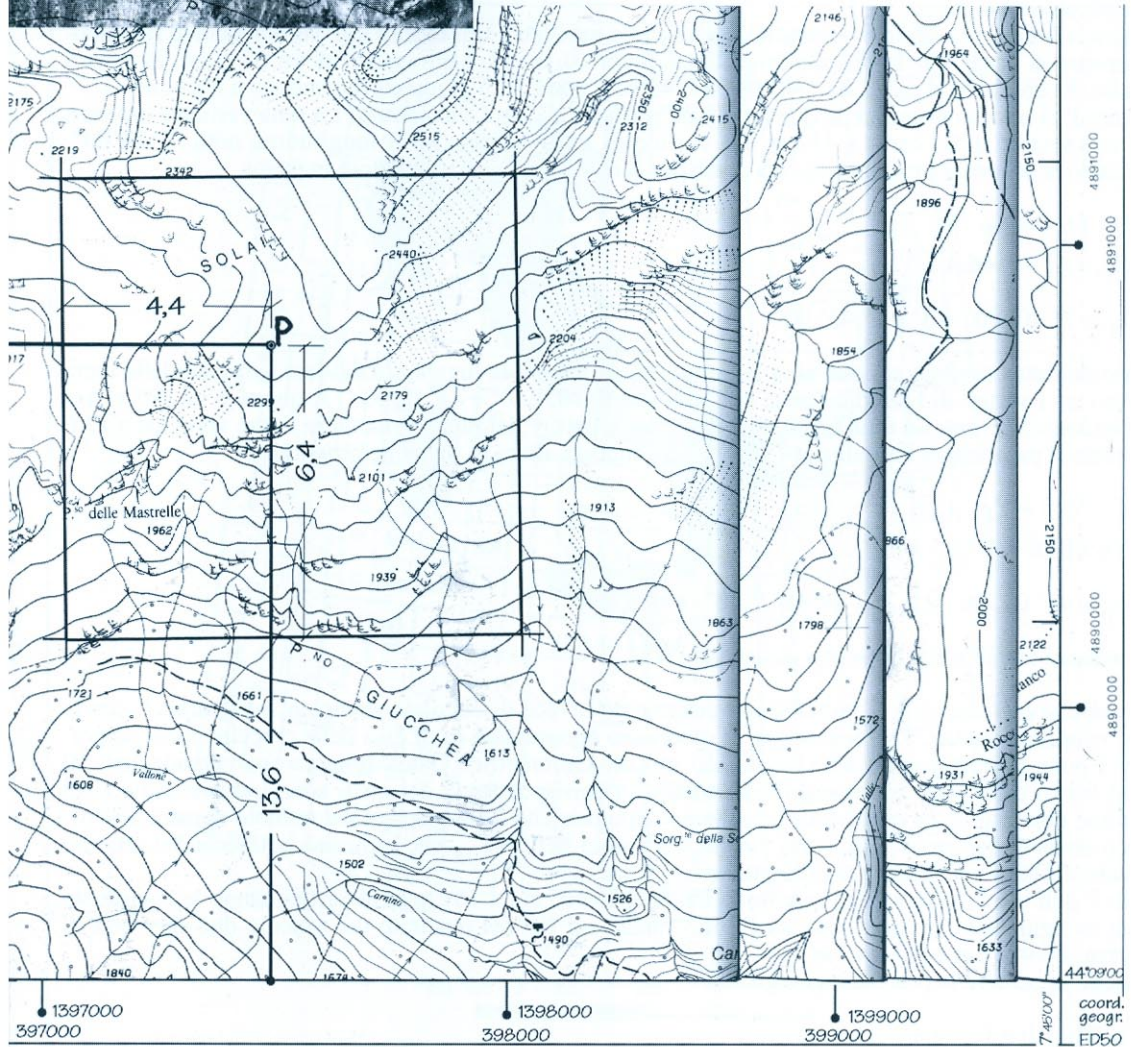
SITUAZIONE

C.T.R. 1:10.000 E I.G.M.I. 1:25.000

91 IV SE		91 I SO
22660	227130	227140
243040	244010	244020
243080	244050	244060
91 III NE		91 II NO

SITUAZIONE 1:50.000 I.G.M.I.

226 CUNEO	227 MONDOVI	228 CAIRO MONTENOTTE
243 COLLE DI TENDA	244 ORMEA	245 ALBENGA
257 DOLCEACQUA	258 SANREMO	259 IMPERIA



66.4 cm

$$1000 : e = P_O : g$$

$$1000 : 4 = P_O : 0.6$$

$$P_O = 0.6 \cdot 1000/4 = 150 \text{ m}$$

per cui:

$$\lambda_p = 1392000 + 150 = 1392150 \text{ mE}$$

Per il calcolo della latitudine analogamente:

$$1000 : f = P_V : h$$

$$1000 : 4 = P_V : 3.3$$

$$P_V = 3.3 \cdot 1000/4 = 825 \text{ m}$$

per cui:

$$\varphi_p = 4893000 + 825 = 4893825 \text{ mN}$$

CTR 1:10.000/5.000. Coordinate geografiche. Il procedimento è analogo al precedente. Occorre tenere presente che il reticolo stampato sulla carta non coincide con le coordinate lette a bordo carta, perché appartengono a due sistemi di riferimento diversi. Prendendo come base per l'esempio la CTR del Piemonte, le coordinate geografiche UTM sono indicate solo sui quattro vertici della sezione. Si procede come indicato nel seguito.

Si misura la lunghezza del lato orizzontale della carta, quello compreso tra i due vertici a cui si riferiscono le misure in gradi. Per la sezione indicata in figura 10, questo segmento è lungo 66.4 cm. In questo intervallo di centimetri si passa da $7^\circ 40' 00''$ a $7^\circ 45' 00''$, ossia $5'$ di grado corrispondono a 66.4 cm.

Dal punto P si tracciano sempre le due rette: una verticale e l'altra orizzontale. La retta verticale incontra l'asse orizzontale della carta a 41 cm dal vertice in basso a sinistra di longitudine nota $7^\circ 40' 00''$. Impostando la seguente proporzione si fa corrispondere a detta misura un valore in primi:

$$5' : 66.4 = X_P : 41$$

$$X_P = 41 \cdot 5'/66.4 = 3'$$

da cui:

$$\lambda_p = 7^\circ 40' 00'' + 3' = 7^\circ 43' 00''$$

In modo del tutto analogo si determina la latitudine. Si misura la lunghezza del lato verticale della carta compreso tra i vertici di latitudine nota, nell'esempio $44^\circ 09' 00''$ e $44^\circ 12' 00''$. A questi $3'$ di differenza corrispondono 55.5 cm. La retta orizzontale tracciata a partire dal punto P incontra l'asse verticale a 13.6 cm rispetto al parallelo di latitudine $44^\circ 09' 00''$. Si imposta allora la seguente proporzione:

$$3' : 55.5 = Y_P : 13.6$$

$$Y_P = 13.6 \cdot 3'/55.5 = 0.7'$$

da cui:

$$\varphi_p = 44^\circ 09' 00'' + 0.7' = 44^\circ 09.7' 00''$$

Le coordinate ottenute si riferiscono al sistema UTM.

Le *coordinate chilometriche* si reperiscono utilizzando invece il reticolato stampato sulla carta. Facendo sempre riferimento alla CTR piemontese, si osservano disseminate su di essa delle crocette. Esse rappresentano i punti di intersezione della maglia del reticolo chilometrico Gauss-Boaga e sono equidistanti 10 cm. Sul bordo carta sono individuabili dei trattini in corrispondenza dei quali sono indicate delle cifre dell'ordine dei milioni. Si tratta delle coordinate chilometriche Gauss-Boaga del reticolo appena descritto. Poco distante dai precedenti, sono visibili altri segni del tipo $_ \bullet$, che indicano la traccia del reticolo chilometrico UTM e le relative coordinate.

Il punto P dell'esempio ricade all'interno di un quadrato 10 cm x 10 cm i cui vertici hanno le coordinate indicate in figura 10. Le solite rette da P individuano sui lati del quadrato del reticolo due segmenti di lunghezza: $P_o=4.4$ cm e $P_v=6.4$ cm.

Si possono impostare le proporzioni seguenti:

$$1000 \div 10 = P_O : 4.4$$

$$1000 \div 10 = P_V : 6.4$$

da cui
 $P_O = 440 \text{ m}$
 $P_V = 640 \text{ m}$

Questi sono i valori di cui aumentare le coordinate dei vertici del quadrato, per determinare la posizione di P. Sarà quindi:

$$P = 1397000 + 440 = 1.397.440 \text{ mE}$$

$$P = 4890000 + 640 = 4.890.640 \text{ mN}$$

Ovviamente le coordinate chilometriche così ottenute sono quelle del sistema Roma40; per passare alle UTM basta utilizzare le costanti di conversione indicate a margine carta.

Per completezza si segnala che le coordinate di un punto possono avere un'espressione del tipo: 32 T MQ 569.300, 5.001.560 di cui nel seguito si spiega brevemente il significato.

Secondo il sistema UTM la superficie del globo è stata suddivisa in 60 fusi (ampiezza 6° latitudine), secondo i meridiani, contraddistinti da numeri arabi, e in 20 fasce (ampiezza da 8° a 80° latitudine rispetto all'Equatore) indicate con lettere maiuscole. L'intersezione delle fasce con i fusi origina le zone, individuate dal numero del fuso e dalla lettera della fascia (nell'esempio 32 T). L'Italia risulta ricompresa quasi interamente tra i fusi 32 e 33 e le fasce T ed S.

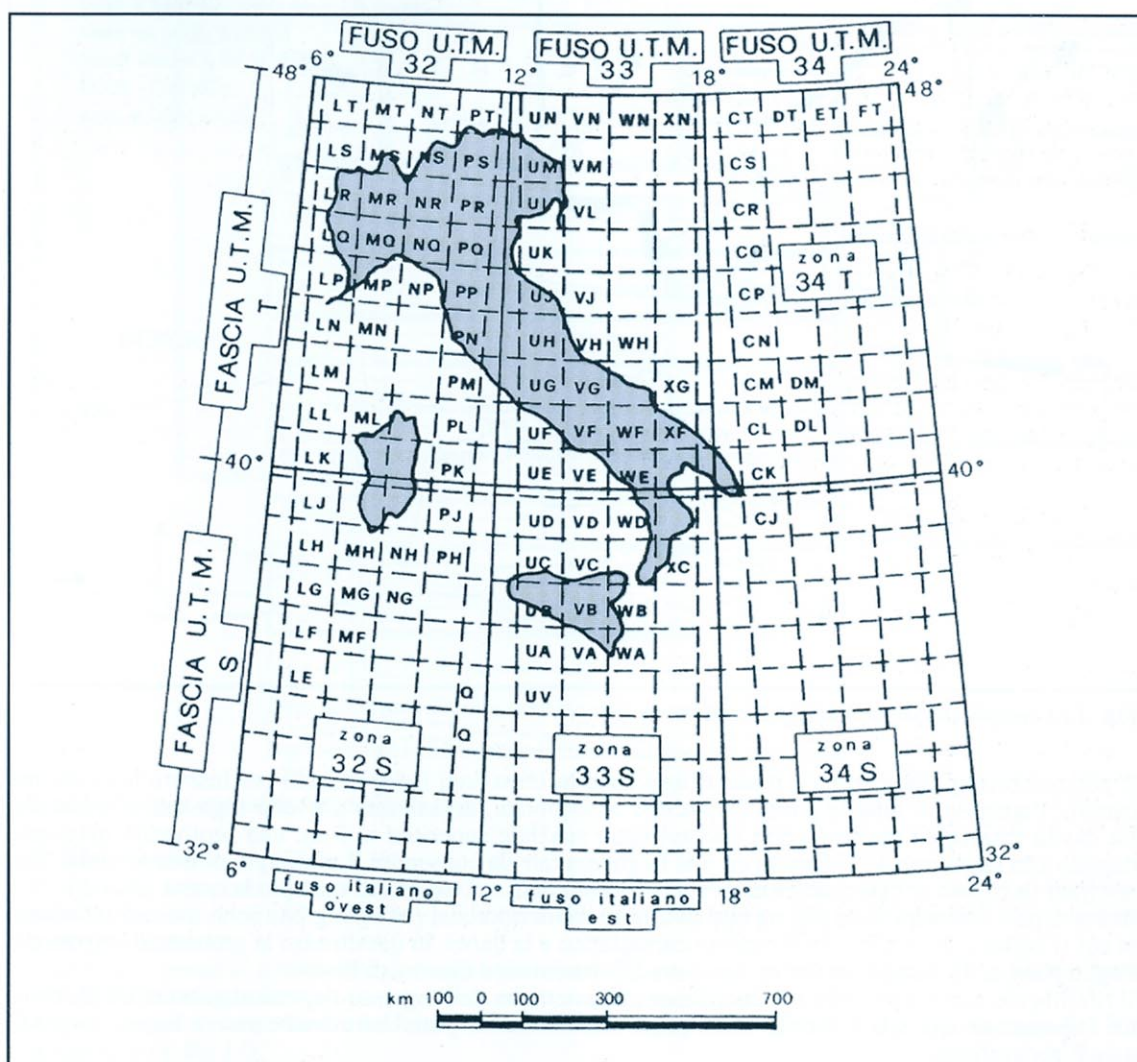


Fig.11 *Suddivisione dell'Italia in fusi, fasce e zone.*

Ogni zona si suddivide in colonne e righe a cadenza di 100 km, ciascuna contraddistinta da una lettera maiuscola. Dall'intersezione di una colonna con una riga si origina un quadretto denominato dalle lettere rispettive della colonna e della riga (nell'esempio MQ). I numeri sono le coordinate x e y. In particolare x è la distanza dal meridiano centrale del fuso; per evitare valori negativi questo asse anziché zero vale $y=500.000$; y è la distanza dall'Equatore. Le distanze sono in metri.

Nell'esempio; $x=569.300$ indica che il punto è sul meridiano posto a 69 km e 300 m a Est del meridiano centrale del fuso n. 32; $y=5.001.560$ dice che il punto è sul parallelo distante 5.001 km e 890 m dall'Equatore.

3. COSA SIGNIFICA FARE IL RILIEVO TOPOGRAFICO

Rilevare una grotta significa:

- 1) posizionare la cavità, cioè determinare, sulla carta topografica, il punto in cui è situato l'ingresso;
- 2) "prendere le misure" della grotta per poterla disegnare. Data la complessità tridimensionale di una cavità, il rilievo non consiste soltanto di una rappresentazione in pianta, come una carta topografica: si richiedono infatti più viste, per avere un disegno leggibile in modo univoco, nelle tre direzioni dello spazio.

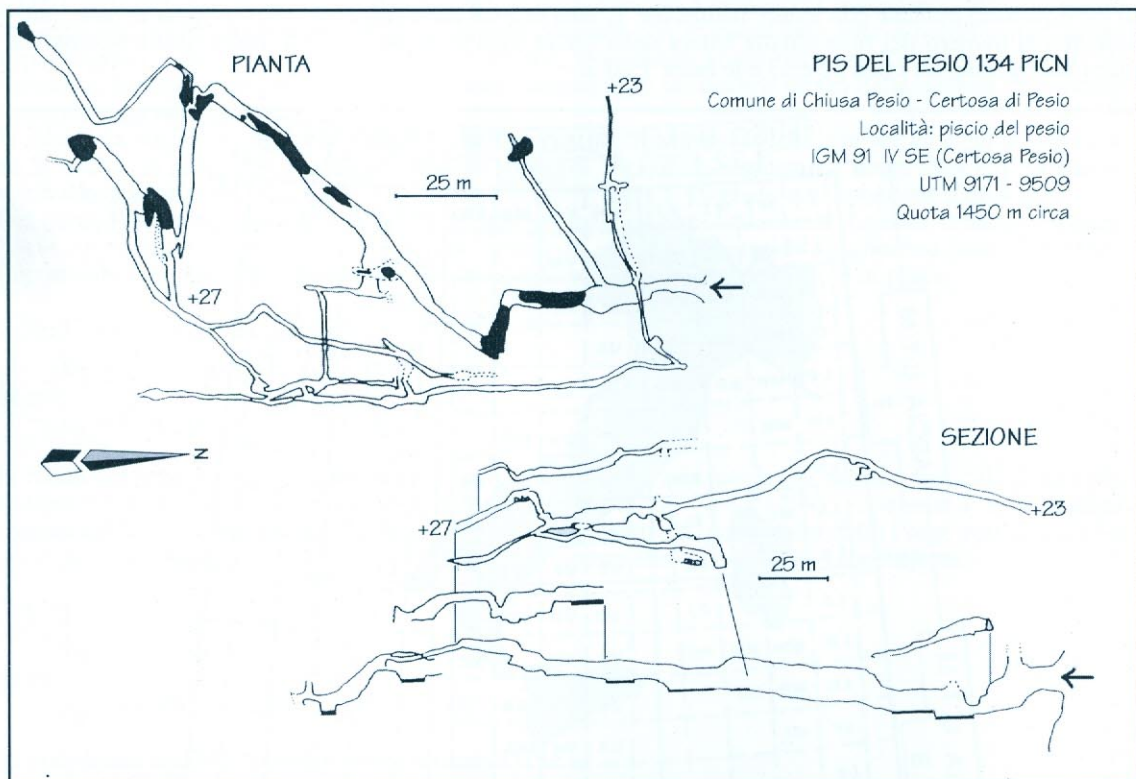


Fig. 12 Esempio di cavità inserita a catasto.

Il posizionamento della grotta e il suo rilievo sono informazioni indispensabili per inserire la cavità nel catasto: l'archivio di tutte le grotte conosciute ed esplorate, organizzato a livello regionale e nazionale. Le cavità catastabili devono avere uno sviluppo spaziale superiore ai 5 m, una profondità maggiore rispetto alla larghezza dell'ingresso ed una larghezza tale da consentire il passaggio di una persona. Non rientrano a catasto le cavità artificiali e quelle non durabili nel tempo (ad esempio le cavità glaciali).

Come si può osservare dalla pagina tipo di catasto sopra riportata, per ogni grotta sono indicati il comune in cui si colloca, la località, il riferimento cartografico e la quota. In questo caso la grotta è all'interno del Foglio IGM n. 91, quarto quadrante, tavoletta SE denominata Certosa di Pesio.

Il riferimento successivo indica le coordinate chilometriche dell'ingresso rispetto al sistema UTM, mentre l'ubicazione spaziale è fornita dalla quota. Le coordinate potrebbero anche essere fornite in gradi, quindi geografiche.

Il codice accanto al nome della cavità è il riferimento specifico del catasto regionale. Possono seguire informazioni relative alla geometria della grotta (dislivello, profondità pozzi, sviluppo), alla descrizione

del percorso di accesso, alla storia esplorativa e alla/e squadra/e che l'hanno rilevata. Se esistono pubblicazioni riguardo alla cavità, devono essere indicate come bibliografia nella forma classica: autore, anno, titolo.

In fig. 13 é riportata la scheda proposta dalla SSI per l'inserimento di cavità nel catasto nazionale.

A questa fase introduttiva segue la descrizione vera e propria della grotta, quindi del percorso interno, degli ambienti, delle singolarità (acqua, ghiaccio, frane, ecc.). Questo capitolo non ha una struttura predefinita, è lasciato alla fantasia e alle capacità di chi scrive.

Ovviamente a tutto questo lavoro si accompagna la rappresentazione grafica, il cui scopo è proprio quello di "fotografare" gli ambienti e fugare ogni dubbio.

Fig. 13 Scheda raccolta dati per il catasto.

4. GLOSSARIO

Poligonale: rete planimetrica costituita da un insieme di segmenti che congiungono due punti (vertici) di coordinate note. Una poligonale si dice chiusa quando il vertice dell'ultimo segmento coincide con il punto di partenza.

Caposaldo: punto di riferimento di facile individuazione con esatta posizione planimetrica; un qualunque vertice della poligonale.

Azimut: angolo compreso tra la retta individuata dal segmento di poligonale e la direzione del Nord magnetico (v. fig.17).

Collimazione: operazione che consente di collegare con una linea immaginaria il caposaldo che si sta misurando con il sistema di puntamento dello strumento di misura.

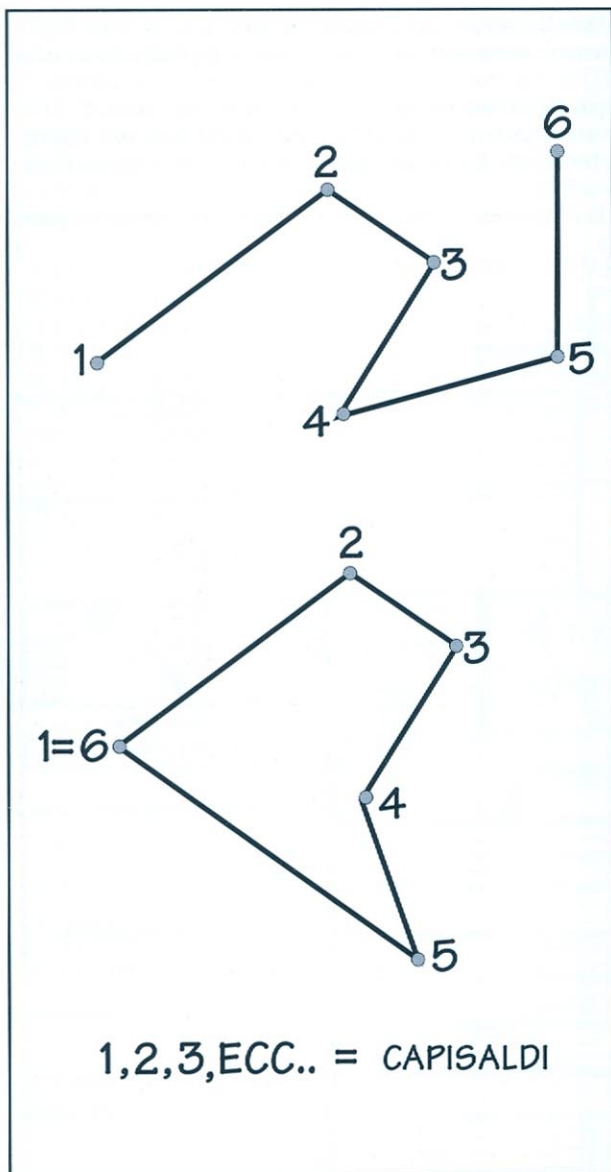


Fig.14 Poligonale aperta e chiusa. Capisaldi.

za percentuale. La lettura di questo strumento richiede una

5.3. La fettuccia metrica

La distanza tra due capisaldi si misura generalmente con una fettuccia metrica. Si tratta di un nastro centimetrato di materiale vario (meglio se rinforzato in fibra di vetro), avvolgibile entro una custodia. La lunghezza della fettuccia è generalmente di 20-30 m (talvolta anche 50 m).

Per misurare la lunghezza di pozzi oltrepassanti la misura della fettuccia e non frazionati, si può ricorrere all'uso del *topofilo*. Si ha il valore della lunghezza in funzione del numero di giri compiuti da una rotella azionata dallo scorrere del filo stesso. Non disponendo del topofilo si può semplicemente misurare la lunghezza della corda con la fettuccia metrica.

Vanno comparando longimetri laser di grande portata e altissima precisione, che possono rappresentare una valida alternativa alle fettucce metriche, con costi accessibili.

5.4. Di cos'altro si compone la trousse da rilievo

Per completare l'attrezzatura da rilievo mancano soltanto un taccuino e una matita. Il taccuino ovviamente serve per trascrivere i dati e può essere un quaderno di fogli di carta qualunque. Esistono però quader-

5. GLI STRUMENTI

Prima di passare alla descrizione di come si esegue un rilievo è bene fare conoscenza con i fedeli compagni del rilevatore: gli strumenti, che sono: bussola, inclinometro e fettuccia metrica.

5.1. La bussola

Lo scopo della bussola è di orientare i lati della poligonale rispetto al Nord. Essa consente cioè di misurare l'angolo tra il segmento di poligonale e il Nord magnetico (azimut).

La bussola normalmente impiegata in speleologia è una bussola destrorsa, con una graduazione oraria del cerchio girevole e lettura sia al traguardo (cioè mirando il punto da misurare) che all'indice. Essa ha un sistema di puntamento che serve a collimare il caposaldo su cui si esegue la misura. Per funzionare correttamente il quadrante deve essere tenuto in piano, a questo scopo lo strumento è dotato di una livella (torica o sferica) o bolla che deve essere centrata prima di eseguire la lettura. Allora, ad esempio, per una misura di direzione in pendenza, dapprima si collima il caposaldo con l'apposito sistema di puntamento, dopo di che, senza assolutamente variare la posizione spaziale, si orizzontalizza lo strumento mettendolo in bolla.

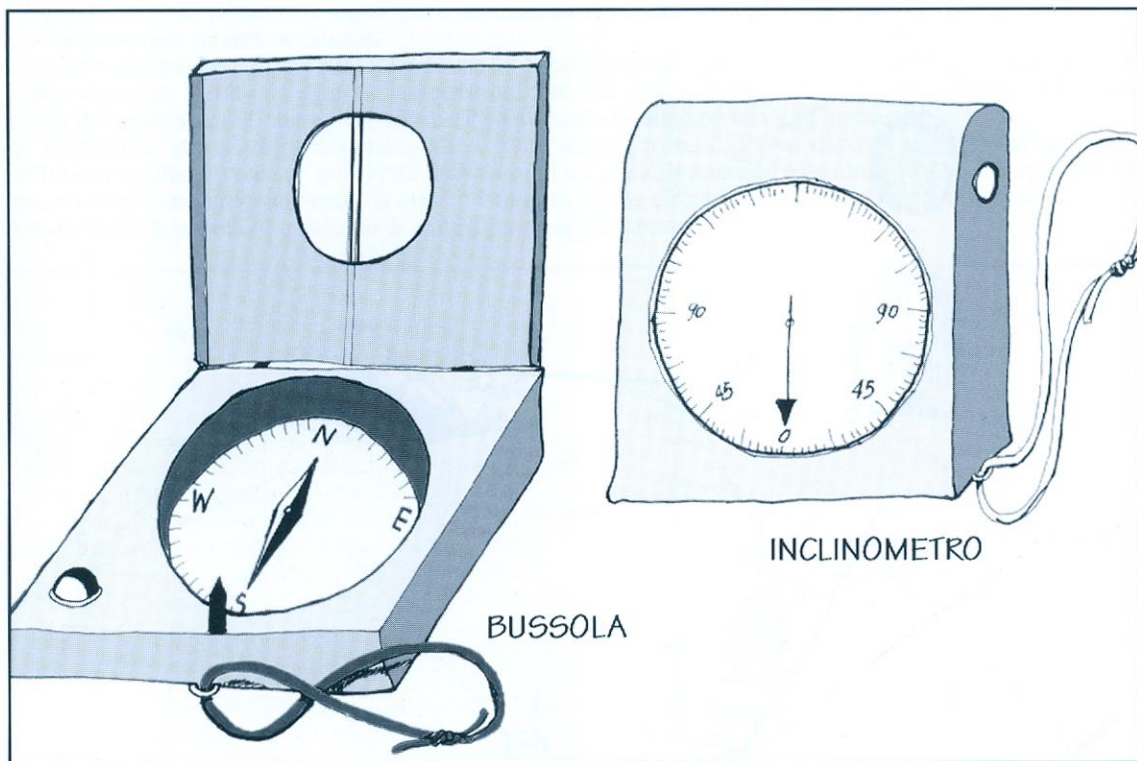
Le bussole forniscono misure in gradi sessagesimali (da 0° a 360° misurati in senso orario a partire dal Nord).

5.2. L'inclinometro

Questo è lo strumento che consente di misurare la pendenza, ovvero l'inclinazione rispetto all'orizzontale del segmento di poligonale compreso tra due capisaldi. I modelli a disposizione sono diversi, il più frequentemente utilizzato è costituito da un disco rotante in bagno d'olio, su cui è incisa una scala graduata. La collimazione avviene per sovrapposizione delle immagini (scala dello strumento e oggetto tragguardato), che si formano nell'occhio del rilevatore.

La scala è in gradi sessagesimali o in pendenza percentuale. La lettura di questo strumento richiede una buona illuminazione del disco graduato.

netti a spirale con copertina rigida, le cui pagine non soffrono l'acqua e sono cancellabili e lavabili. Per scrivere è sempre bene usare una matita piuttosto che una biro: la matita scrive sempre anche in presenza d'acqua, fango, polvere... Meglio averne sempre una di scorta e un coltellino per farle la punta. Può essere utile portare anche una pila elettrica, per facilitare la lettura degli strumenti e per illuminare punti inaccessibili. Alcuni aggiungono anche una squadretta, un goniometro per risolvere in sito piccoli problemi geometrici e un metro rigido per piccole misure sulle sezioni trasversali.



6. IL RILIEVO ESTERNO

Il rilievo di superficie ha come scopo la localizzazione della grotta sulla carta topografica. L'individuazione della cavità deve essere la più precisa possibile.

È scontato dire che occorre recarsi sul posto muniti di carta topografica.

Le situazioni illustrate nel seguito sono quelle generali in cui può capitare di imbattersi:

1. dall'ingresso è visibile e accessibile un punto noto, di facile individuazione sia sul terreno che sulla carta (campanile, caposaldo trigonometrico, ponte...). Si misura con la fettuccia la distanza ingresso - punto di riferimento e si determina la direzione di detto segmento rispetto al Nord;
2. il punto noto di riferimento non è direttamente visibile o raggiungibile dall'ingresso della cavità. In questo caso occorre costruire un tratto di poligonale per collegare i due punti. Per ciascun tratto di questa poligonale si misurano le coordinate polari, analogamente a ciò che si fa in sotterraneo (v. cap. 7);
3. non è individuabile né raggiungibile alcun punto di riferimento. Questa è la situazione più ricorrente nelle zone montuose. Dall'ingresso della grotta si individuano tre oggetti ben definiti e identificabili sulla carta (cime, rifugi, croci...) e si determina la direzione rispetto al Nord dell'ipotetica retta congiungente ingresso - punto. In questa situazione può essere utile il dato di quota fornito dall'altimetro. Sulla carta l'ingresso cadrà all'intersezione delle rette passanti per i punti di riferimento individuati, con direzione pari all'azimut misurato con la bussola.

7. IL RILIEVO INTERNO

L'operazione di rilievo si compone di tre fasi:

- acquisizione dei dati;
- elaborazione e analisi dei dati;
- resa grafica.

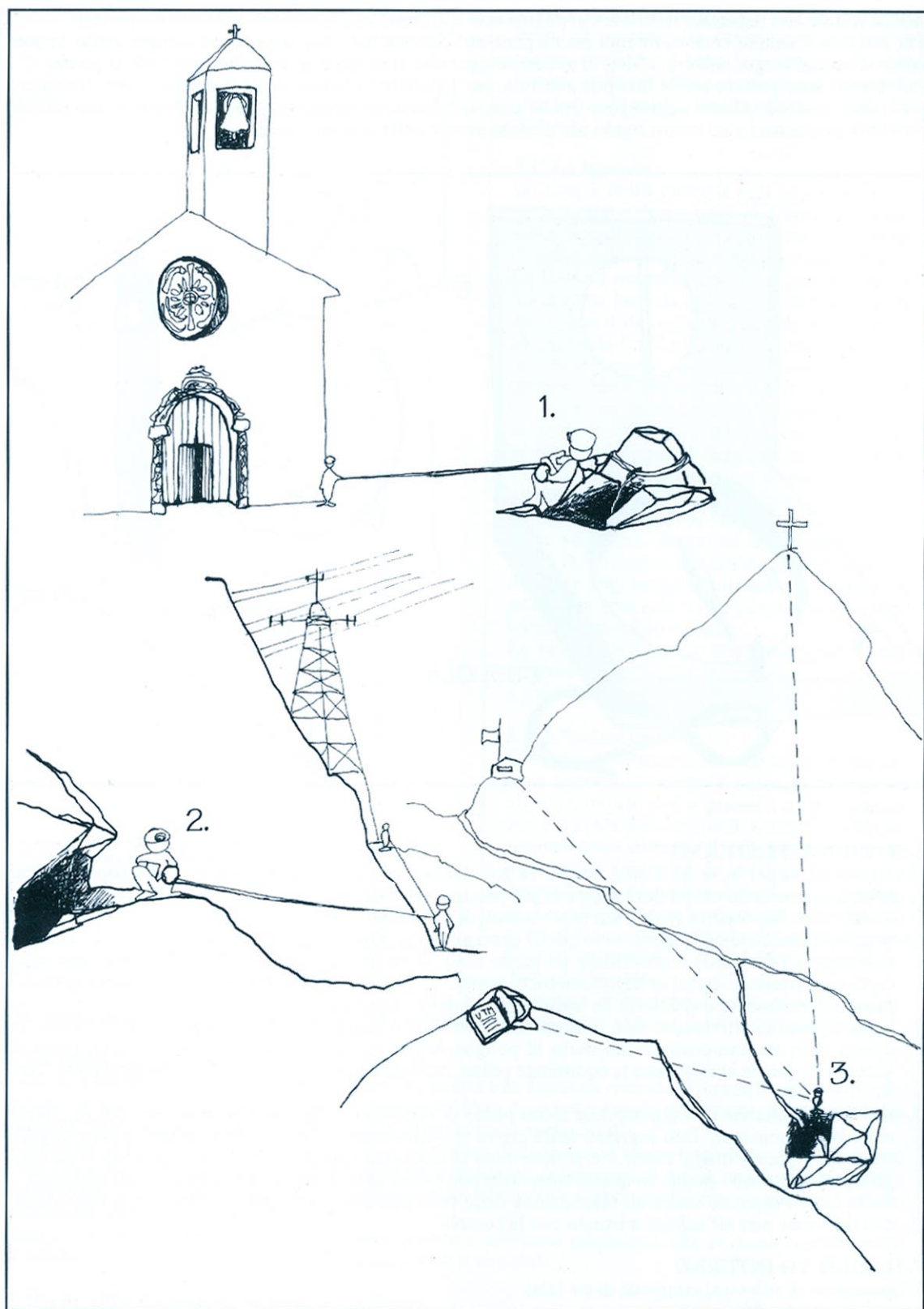


Fig. 16 Rappresentazione di alcuni metodi per la localizzazione dell'ingresso di una cavità.

7.1. Acquisizione dei dati

E' la fase di rilevamento vera e propria, che consiste nella misura delle grandezze necessarie alla costruzione della poligonale, cioè di quella linea spezzata ideale composta di segmenti delimitati da capisaldi, che costituirà lo scheletro su cui costruire la struttura della grotta.

Dette grandezze sono: pendenza, direzione e lunghezza. Si noti che la direzione rispetto al Nord magnetico ha un valore se misurata ad esempio dal caposaldo 1 al caposaldo 2, ma varia di 180° se rilevata da 2 ad 1 (fig. 17).

La pendenza è un valore con segno, per convenzione si adatterà una pendenza positiva per misure in salita e negativa per misure in discesa.

Accanto alle tre grandezze che consentono la localizzazione spaziale del segmento, il rilevatore deve preoccuparsi di fornire un disegno sintetico del tratto di grotta appena rilevato (si ricordi che nella scala finale del disegno molti dettagli spariranno!), valutando le dimensioni degli ambienti.

E' importante segnalare particolari quali: arrivi d'acqua, correnti d'aria, depositi (concrezioni e frane), diffuenze (gallerie, camini, pozzi) da indicare con un punto interrogativo o altre note se da esplorare. In quest'ultimo caso annotare anche il verso e l'intensità della circolazione d'aria all'imbocco di esse.

Un esempio di pagina di quaderno di campagna è rappresentato in fig. 18.

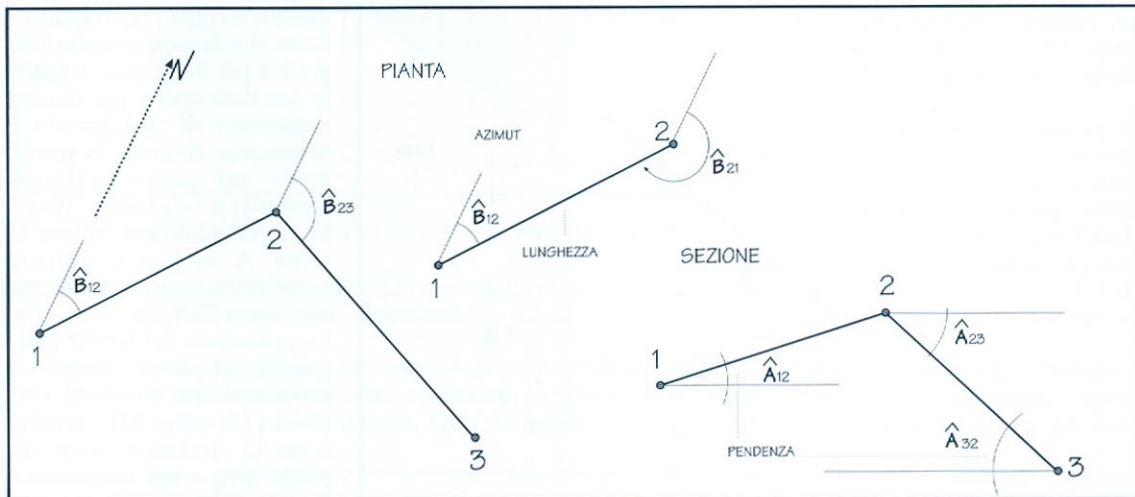


Fig. 17 Direzione, pendenza e lunghezza di un segmento di poligonale.

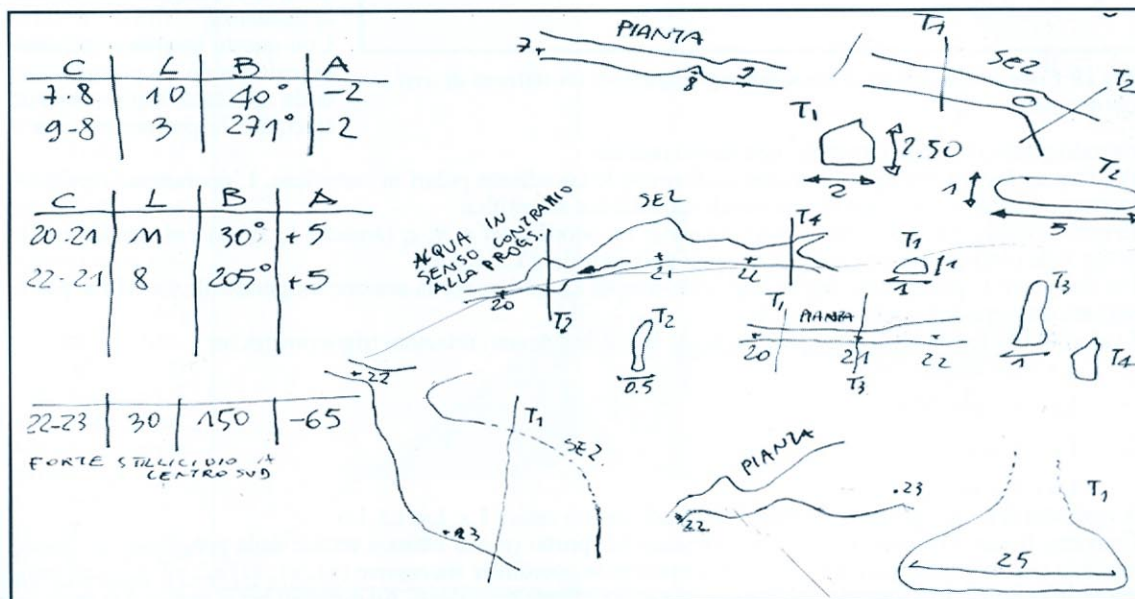


Fig. 18 Esempio di pagina di un quaderno di rilievo con le annotazioni e le misure prese in grotta.

7.2. Elaborazione e analisi dei dati

Questa operazione è bene che sia immediatamente successiva alla raccolta dei dati, così che se alcuni particolari sono sfuggiti alla matita, sono ancora vivi nella nostra memoria.

Nel seguito si propone uno dei tanti metodi impiegabili per rilevare.

La fase elaborativa inizia trascrivendo le misure, riordinandole a partire dall'ingresso della grotta (o del caposaldo più vicino ad esso). Conviene, a questo scopo, costruire una tabellina in cui si riportano, per ciascun lato misurato della poligonale, il numero distintivo dei due capisaldi, la distanza metrica (L), la direzione rispetto al Nord (azimut B), la pendenza (A).

N: CAPOSALDI	L: DISTANZA	B: BUSSOLA	A: PENDENZA
1 - 2	3,4	240	-30

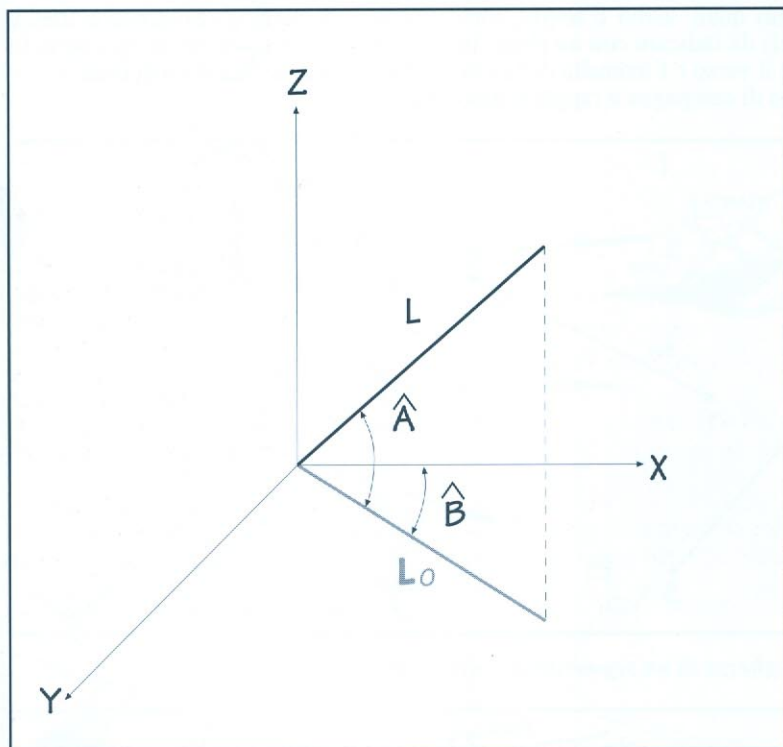


Fig.19 Coordinate polari di un segmento rispetto a un sistema di assi cartesiani.

metodo grafico (v. oltre), peraltro non molto preciso.

Per fare un lavoro ben fatto è meglio trasformare le coordinate polari in cartesiane. L'operazione è particolarmente semplice con l'uso di una banale calcolatrice scientifica.

In questo modo, un caposaldo è individuato da tre coordinate: x, y, z, (anziché L, B, A) e a ogni lato della poligonale corrisponde una proiezione sugli assi cartesiani Lx, Ly, Lz.

Per disegnare la pianta sono necessarie le proiezioni Lx ed Ly, per la sezione longitudinale Lx ed Lz, per la sezione trasversale Ly ed Lz.

I valori di Lx, Ly ed Lz si ottengono da L, A, B con le seguenti relazioni trigonometriche:

$$Lx = L_0 \cos(B)$$

$$Ly = L_0 \sin(B)$$

$$Lz = L \sin(A)$$

$$L_0 = L \cos(A)$$

A ogni lato della poligonale sono quindi abbinati quattro valori: Lx, Ly, Lz, L0.

Conviene fissare l'origine del sistema cartesiano nel primo (o nell'ultimo) vertice della poligonale; in questo modo le sue coordinate saranno 0, 0, 0. Per ottenere le coordinate successive (x1, y1, z1; x2, y2, z2) sarà semplicemente necessario sommare tra loro via via le coordinate precedenti. Ad esempio per il vertice 4 si avrà

$$:x_4 = x_1 + x_2 + x_3 + x_4$$

Le letture degli strumenti avvengono in ordine progressivo (1 su 2, 2 su 3...)

Le tre coordinate polari rilevate (L,B,A) consentono di posizionare un punto nello spazio. Dato che la rappresentazione grafica più immediata è quella in due dimensioni, per ciascun segmento di poligonale è necessario ricavare le proiezioni sul piano verticale (sezione) e orizzontale (pianta), ovviamente con misure in scala. A tal fine si utilizza come riferimento un sistema cartesiano X, Y, Z.

La proiezione del lato di poligonale sul piano verticale è proprio il lato stesso di lunghezza L (v. fig. 20) e rappresenta la vista in sezione. In pianta invece tale lunghezza è data da:

$$L_0 = L \cos(A)$$

dove A è l'angolo che misura la pendenza.

Con queste semplici operazioni, calcolando L0 per ogni lato della spezzata, è già possibile tracciare la poligonale con il

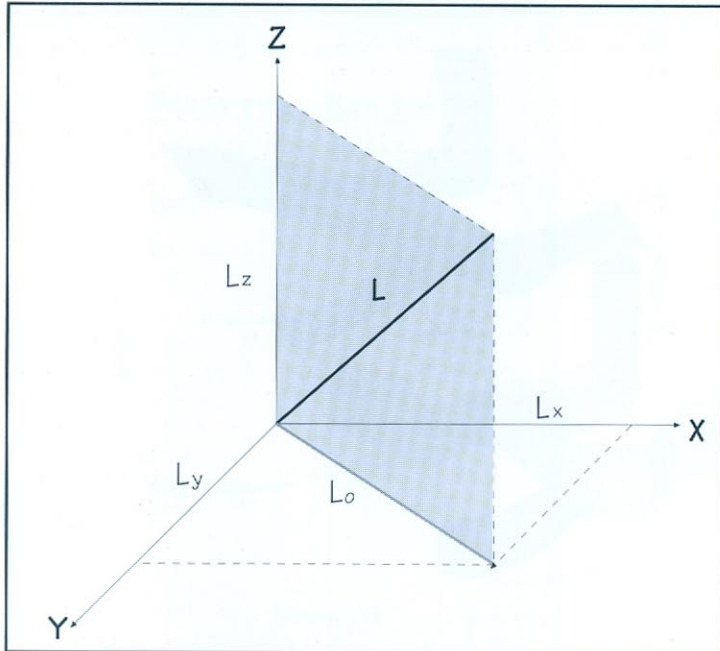


Fig. 20 Proiezioni del segmento di poligonale sugli assi cartesiani.

segmento e con il righello si individua su quella direzione il caposaldo 2. Naturalmente la distanza 1-2 (L) deve essere riportata in scala. Si procede in modo del tutto analogo da 2 a 3 e così via fino all'ultimo caposaldo.

La proiezione sull'orizzontale dei segmenti così ricavati non è che la distanza planimetrica L_0 . Pertanto la poligonale della pianta si costruisce riportando i segmenti L_0 in scala orientandoli col goniometro rispetto al Nord di un angolo pari all'azimut. Questo metodo è veloce, ma ha il grosso svantaggio che gli errori commessi nel disegno su ciascun lato della poligonale si trasmettono direttamente sui lati susseguenti.

Con le coordinate cartesiane si elimina il problema della propagazione degli errori. In questo caso stabilito un punto, origine del sistema di riferimento, si individuano i capisaldi attraverso le proiezioni L_x , L_y , L_z precedentemente calcolate. Per la sezione si tratta di L_z ed L_x , per la pianta di L_x ed

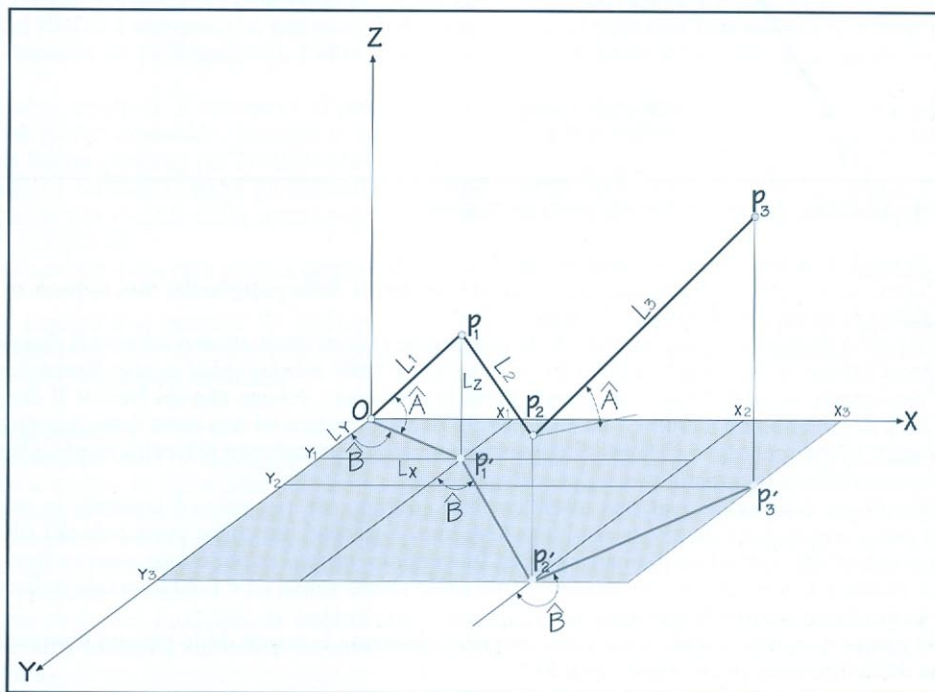


Fig. 21 Poligonale in un sistema di assi cartesiani. Sono indicate sia le coordinate cartesiane, che le polari.

7.3. La resa grafica

I dati ordinati e rielaborati secondo le modalità viste in precedenza sono ora pronti per essere tradotti in disegno.

La prima operazione da fare è scegliere la scala grafica, cioè a quale lunghezza reale vogliamo far corrispondere un centimetro sul nostro disegno. Generalmente si lavora con scale dell'ordine di 1:500, ma si arriva anche a 1:200 per grotte molto piccole o a 1:800/1000 per grandi sviluppi.

A questo punto si traccia la poligonale, o con il metodo grafico, o attraverso l'individuazione dei capisaldi ricorrendo alle coordinate cartesiane. Per farlo sono necessari carta millimetrata, righello e goniometro.

Il metodo grafico parte sempre dal disegno della sezione (proiezione sul piano verticale). Fissato il punto corrispondente al caposaldo iniziale, si prende col goniometro l'inclinazione (A) corrispondente al primo

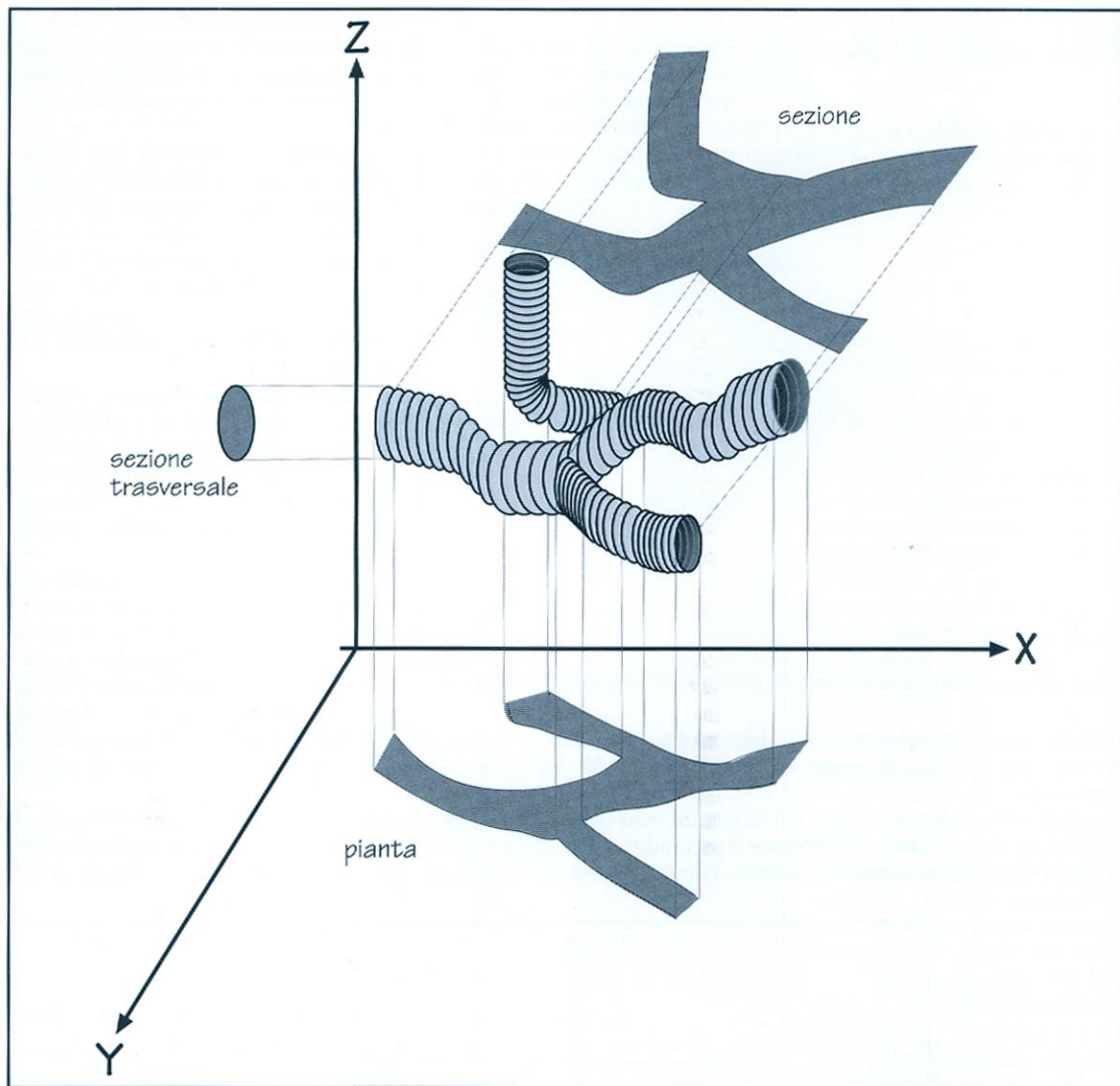


Fig. 22 *Proiezione di cavità sui piani cartesiani.*

Ly, se gli assi sono orientati come in fig. 21.

Conviene sempre tracciare uno dopo l'altro i segmenti della poligonale, non appena si localizza il caposaldo, per evitare di smarrirne l'ordine.

Una volta eseguito il tracciamento della poligonale si costruisce attorno ad essa il disegno vero e proprio. Quest'ultimo si basa sugli schizzi presi in grotta e sulle misure relative alle dimensioni degli ambienti. Chiaramente in questa fase è di grande aiuto la memoria... è bene che sia fresca! Il disegno deve rendere l'idea degli ambienti a colpo d'occhio, per cui occorre pratica ed una certa dote "artistica".

Vanno anche segnalati i dettagli di cui si è accennato in precedenza (blocchi, acqua, ghiaccio...) utilizzando eventualmente opportuni disegni convenzionali.

Talvolta ci si trova a dover rappresentare rami sovrapposti, per cui si è costretti, in sezione, a disegnarli in posizione sfalsata (la pianta risolverà l'enigma) o staccati dal corpo principale del rilievo. In quest'ultimo caso è indispensabile indicare con una linea punteggiata il punto esatto a cui vanno collegati.

La pianta e la sezione devono essere dirette nello stesso senso ed è fondamentale indicare la scala grafica e la direzione del Nord sulla pianta.

Su pianta e sezione vanno anche individuate e numerate le tracce delle sezioni trasversali, con indicazione della direzione in cui vanno guardate.

Le sezioni trasversali possono essere rappresentate su un foglio a parte o accanto alla rappresentazione.

Dato che generalmente il rilievo deve essere riproducibile, il disegno dalla carta millimetrata va riportato su lucido in formato unificato.

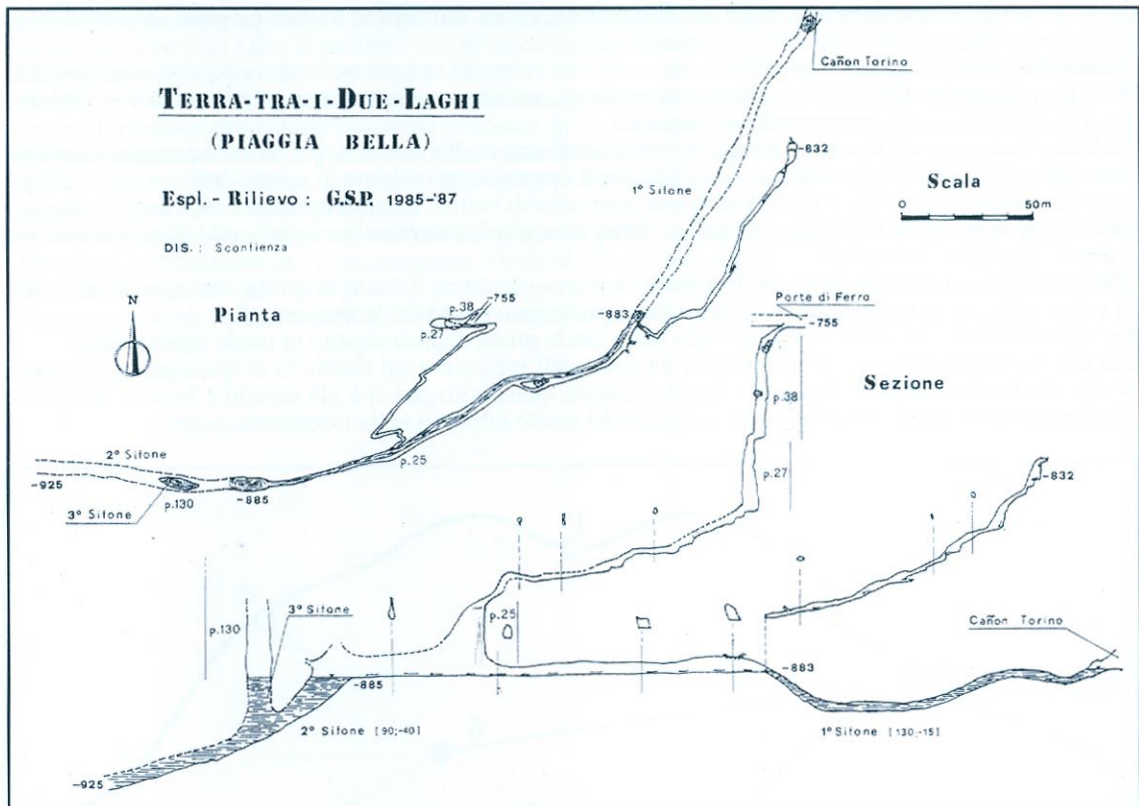


Fig. 23 Risultato finale delle operazioni di rilievo.

8. LA SQUADRA DI RILEVAMENTO: COMPOSIZIONE E MODALITA' OPERATIVE

La squadra addetta al rilievo è composta al massimo di tre persone. In tal caso uno sarà addetto alla lettura degli strumenti (bussola ed inclinometro), l'altro alla misura delle distanze e l'ultimo a disegnare la grotta.

Il meccanismo è molto semplice: il rilevatore si posiziona in un punto opportuno, mentre il compagno avanza per fissare un nuovo caposaldo, facendo in modo che esso sia ben visibile dal compagno ed allo stesso tempo sia una buona partenza per la successiva misura.

Lo strumentista sceglie i caposaldi, legge gli strumenti, il misuratore stende e legge la fettuccia metrica e si posiziona in un punto ben visibile dallo strumentista e che allo stesso tempo sia una buona partenza per il successivo lato di poligonale.

Il disegnatore è responsabile della resa grafica degli ambienti e stenderà il rilievo nella sua forma definitiva.

Possono comunque bastare due persone: lo strumentista, che prende nota anche della conformazione della grotta ed il misuratore. Una terza persona agevola le operazioni quando si rileva esplorando, precedendo in avanscoperta ed indicando la strada.

8.1. Come procede la squadra

Si stabilisce il primo caposaldo e il misuratore (affidato il capo della rotella allo strumentista) procede fino a quando riesce a vedere la fiammella del compagno o finisce la fettuccia. A questo punto, avendo cura di tendere la fettuccia tra i due capisaldi (è importante che il nastro sia teso e rettilineo, non faccia giri strani, curve... i segmenti della poligonale sono retti!) il misuratore legge la distanza metrica. Lo strumentista invece collima gli strumenti sul caposaldo presidiato dal misuratore, puntando la sua fiammella posta all'incirca sul punto di misura.

Nello scegliere la posizione del caposaldo si ricorda che la puntata deve essere la più lunga possibile, il punto comodo con buona visibilità sul tratto successivo di grotta. In corrispondenza di biforcazioni deve essere il punto centrale.

Nel caso di grotte complesse e con rilievi a più squadre è bene segnare i punti chiave (biforcazioni importanti...) in modo che siano facilmente riconoscibili ad esempio con ometti di sassi, pezzi di nastro catarinfrangente, fogli di carta o altri sistemi non dannosi all'ambiente.

Se il terzo speleologo ricopre il ruolo del disegnatore, allora annoterà le misure eseguite ad alta voce, se no le stesse vengono trascritte dallo strumentista.

Alcuni eseguono le misure alternativamente, cioè una volta col misuratore avanti e lo strumentista indietro e la volta successiva viceversa. In questo modo si compensano eventuali errori strumentali e si riducono le incertezze sul posizionamento dei capisaldi.

Volendo valutare con precisione le dimensioni di ambienti molto grandi, quali ad esempio sale, conviene usare la tecnica dell'irraggiamento. Ci si posiziona approssimativamente al centro dell'ambiente con un caposaldo della poligonale e da lì si eseguono una serie di battute verso il perimetro. Per non creare confusione tra la poligonale principale e questi "rami secondari", conviene nominare con lettere anziché con numeri i capisaldi perimetrali.

Chi si occupa del disegno cerca di riprodurre in pianta e sezione il tratto di grotta corrispondente al lato di poligonale che si sta misurando, definendone, per quanto possibile, le dimensioni.

Le sezioni trasversali vanno disegnate ogni volta che la grotta cambia aspetto in modo significativo.

Sta alla decisione della squadra se rilevare a partire dall'ingresso o dal fondo. Si tenga comunque presente che dal fondo significa allungare i tempi di uscita, quando magari si è già stanchi e bagnati. In queste condizioni si rischia di compromettere le misure ed essere affrettati nella rappresentazione.

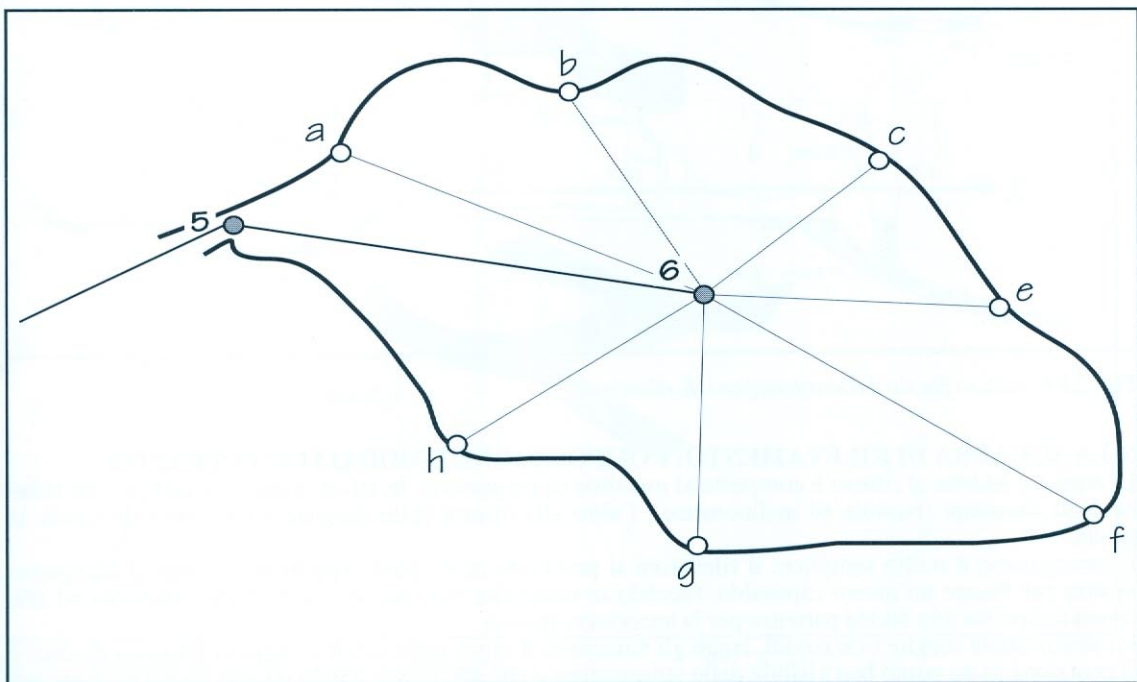


Fig. 24 Rilievo per irraggiamento.

9. LA PRECISIONE DEL RILIEVO

La precisione di un rilievo sotterraneo dipende essenzialmente dalla accuratezza con cui sono eseguite le misure della poligonale, dalla precisione con cui sono posizionati i capisaldi, dalla correttezza dei calcoli e del disegno. L'incertezza maggiore è legata alle prime due voci e si può tentare di minimizzarla eseguendo due volte di seguito la stessa misura, mediando le letture e procedendo a stazioni alterne.

Accanto a queste cause di errore accidentale, si aggiungono errori dovuti alla precisione dello strumento (sono comunque quelli che incidono di meno) ed errori di taratura. Questi ultimi possono essere evitati solo con un accurato controllo degli strumenti, non sono infatti eliminabili con la compensazione e si sommano ad ogni battuta.

Il peso maggiore spetta comunque agli errori accidentali commessi dall'operatore. La precisione del rilievo è un fatto molto soggettivo, dipende dall'esperienza e dall'accuratezza del rilevatore.

NOTA: è importante misurare sempre la pendenza del tratto di poligonale relativo ai pozzi, infatti non è detto che i capisaldi siano esattamente sulla verticale. Si noti che un pozzo inclinato di 65° viene percepito come verticale e invece induce uno spostamento in pianta pari a metà della sua lunghezza.

10. L'AIUTO OFFERTO DALL'INFORMATICA

Fino ad ora è stato descritto il metodo tradizionale di rilievo. Nella fase di elaborazione dei dati, se da un

lato è estremamente comoda e precisa una calcolatrice rispetto al regolo e alle tabelle logaritmiche, risulta un vero e proprio salto di qualità l'uso di un computer.

Disponendo di un banalissimo foglio elettronico o di un programma che includa queste funzionalità (Excel, 4PRO e simili) si può creare una maschera in cui inserire direttamente i dati del quaderno di campagna. Il risultato immediato è di avere le misure trasformate in coordinate cartesiane.

Alcuni programmi sono in grado di fornire immediatamente la rappresentazione grafica della poligonale della pianta e della sezione. In ambito speleologico è possibile reperire con una certa facilità programmi adatti al tracciamento delle poligonali.

Con programmi più evoluti è possibile disegnare la grotta, elaborare proiezioni da diverse angolazioni, farne una ricostruzione in 3D, sovrapporre il rilievo alla carta topografica...

Non va dimenticato però che la validità del supporto informatico dipende direttamente dai dati forniti in ingresso e quindi dall'accuratezza del rilievo eseguito in sotterraneo.

BIBLIOGRAFIA

G. Preto; **Monti e boschi**; anno XLVIII, n.4, luglio-agosto 1997

G. Badino; **Satellitare: caratteristiche e uso**; Progressione n. 30; CGEB, 1994

F. Bagliani et altri; **Manuale di rilievo ipogeo**; Regione autonoma Friuli Venezia Giulia; Trieste, 1992

C. Bottoli, G. Esposito; **Prontuario di topografia e rilievo ipogeo**; GS Sacile, 1998

APPENDICE 1

IL GPS: TEORIA, UTILITA' E UTILIZZO

GPS è l'acronimo di Global Positioning System e indica un sistema di posizionamento che si effettua mediante misurazioni radiotelematiche e che consente di determinare in qualunque punto della terra e in qualsiasi istante la posizione spaziale, il tempo astronomico, la velocità di veicoli terrestri, navali, aerei. Le informazioni vengono desunte dai dati trasmessi da una fitta rete di satelliti a un apposito apparecchio ricevente fisso o mobile, localizzato a terra.

La versatilità, la semplicità di impiego e i costi delle apparecchiature sempre più contenuti hanno favorito un'ampia diffusione di questo metodo di rilevamento, che d'altra parte presenta dei limiti che lo rendono applicabile per ora solo a rilievi in grande scala e non di precisione.

Teoria del funzionamento

Si tratta di determinare la distanza del punto di interesse su cui viene piazzato lo strumento (il ricevitore) dai satelliti orbitanti nello spazio di cui è nota con precisione la posizione. La distanza si calcola in funzione del tempo impiegato dal segnale inviato dal satellite a raggiungere il ricevitore, tenuto conto della velocità di propagazione. Questa distanza altro non è che il raggio di una sfera centrata sul satellite. La posizione del ricevitore è un punto appartenente alla superficie di detta sfera. Considerando un altro satellite e un'altra distanza si individua una seconda sfera sulla cui superficie cade il punto ricevente. L'intersezione delle due sfere origina un cerchio, un punto del quale è la stazione ricevente. Una terza coppia satellite - ricevitore permette di fissare all'interno del cerchio due punti uno dei quali coincidente con la stazione ricevente. A questo punto sarebbe già sufficientemente individuato il ricevitore ma è necessario ancora agganciare un quarto satellite per poter "mettere in tempo" le quattro coppie di distanze, in modo cioè che abbiano contemporaneamente lo stesso punto in comune. Le coordinate X Y Z del ricevitore sono date in un sistema di coordinate terra - centrate (ECEF: earth centred - earth fixed); lo stesso apparecchio le converte poi in longitudine, latitudine e altitudine rispetto ad un particolare ellissoide WGS-84 (World Global System 84). Con opportuni parametri di conversione si passa agli altri sistemi geodetici.

I satelliti

La costellazione di satelliti per il GPS è di proprietà del Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti e consta di 24 satelliti NAVSTAR, che si muovono su sei orbite di raggio 20.200 km. Ogni orbita contiene da tre a quattro satelliti. I piani orbitali sono inclinati di 55° rispetto all'Equatore per garantire una copertura globale e continua su tutta la superficie terrestre e rendere visibili da qualsiasi punto almeno quattro satelliti. Componente fondamentale del satellite NAVSTAR è il sistema di orologi di bordo. Per avere misure molto precise della distanza ricevitore - satellite è necessario che gli orologi abbiano un'accuratezza sulla misura dell'ordine del nanosecondo. Ogni satellite prevede una coppia di orologi atomici e tre al quarzo di altissima precisione e stabilità, per cui ciascun satellite è autonomo e può operare anche in assenza di comandi da terra per un certo periodo di tempo. L'orbita dei satelliti è costantemente controllata e i parametri orbitali (effemeridi) sono continuamente calcolati da terra e inviati a bordo di ciascun satellite, che poi li trasmette ai ricevitori GPS. La base che presiede al governo del sistema (Master Control Station) è la Falcon Air Force vicino a Colorado Springs, gestita dall'USA Force Space Command. Il centro si appoggia a una rete di stazioni di controllo che registrano gli istanti di passaggio dei satelliti e li trasmettono alla base. Qui i calcolatori aggiornano i dati orbitali, la degradazione del segnale orario e li ritrasmettono ai satelliti.

Il segnale

I satelliti NAVSTAR inviano le informazioni (effemeridi, distanza, condizioni di trasmissione, ...) avvalendosi di segnali radio trasmessi su due frequenze della banda L: L1 1575.42 MHz e L2 1227.60 MHz. Il segnale viene modulato dal codice di acquisizione grossolana C/A (Coarse Acquisition), specifico per ciascun veicolo spaziale e impiegabile per usi civili e dal codice P (Precision Code) impiegabile per solo uso militare e pertanto inaccessibile, ma che fornisce dati estremamente precisi. Per diminuire ulteriormente la precisione del codice C/A gli Stati Uniti hanno introdotto una degradazione del segnale: la disponibilità selettiva (SA: Selective Availability). Si tratta di inserimenti, nella sequenza del segnale, di errori sui dati delle effemeridi e di manipolazioni del segnale di tempo secondo leggi casuali.

Il messaggio di navigazione è di 1500 bit ed è composto da 5 sezioni da 300 bit ciascuna, di durata 6 s; la velocità di trasmissione è di 50 bps. In sostanza per la ricezione completa di un messaggio satellitare sono necessari 30 s di attesa. Ma per "agganciare" un satellite occorrono invece 13 min perché il ricevitore deve "sentire" le effemeridi e riconoscere il satellite.

Il ricevitore

E' un apparecchietto in grado di captare e leggere le informazioni provenienti dallo spazio. E' dotato di un'antenna che opera sulla banda di frequenza del messaggio satellitare modulato dal codice C/A. E' in grado di riconoscere la posizione dei satelliti e di mettersi "in tempo" con essi, per fornire come dato finale le coordinate del punto.

Errori e correzioni

Tanto più grande è il volume della piramide individuata dalle distanze satellite - ricevitore tanto più è accurata la posizione del punto. Sull'accuratezza della misura oltre alle alterazioni tipo SA influiscono altri fattori quali:

- ritardi di trasmissione dovuti alla propagazione nella ionosfera (dell'ordine dei 30 m). Il segnale viene ritardato di una quantità imprevedibile, ma con ricevitori a doppia frequenza è possibile compensare totalmente questo effetto;
- ritardi dovuti alle variazioni di pressione, temperatura e umidità della troposfera (circa 10 m). Anch'essi sono eliminabili;
- sdoppiamento o riflessione multipla del segnale causata da ostruzioni di vario genere (monti, edifici ...) per cui una parte del segnale arriva in ritardo al ricevitore. Si può ovviare all'inconveniente solo allungando i tempi di osservazione e scegliendo opportunamente il punto di ricezione;
- imprecisione nel dato delle effemeridi (1 m);
- distorsione del segnale all'interno del ricevitore (1 m).

In definitiva con un normale GPS a basso costo si ottengono misure di posizione affette da errori dell'ordine dei 30 m in pianta e 100 m in altitudine!

DGPS

Per ovviare alla scarsa accuratezza causata dalla degradazione del segnale è stato elaborato il metodo di correzione differenziale dei dati: il DGPS (Differential GPS), basato sull'utilizzo di uno o più ricevitori addizionali (stazioni base) collocati in posizioni di coordinate note con precisione. Basandosi sul fatto che la maggior parte degli errori, per una data area, sono determinati da fattori comuni (SA, ionosfera,...) si procede alla loro correzione attraverso il calcolo della differenza tra coordinate note e rilevate e si applica la correzione a tutte le stazioni riceventi (rovers). Dal momento che le fonti di errore cambiano in continuazione, è necessario che i dati correttivi elaborati dalla stazione coincidano temporalmente con i dati registrati dalle stazioni mobili. Un metodo è quello di registrare i dati nei diversi punti ed elaborarli congiuntamente in un secondo tempo. Alcune basi sono invece in grado di trasmettere la correzione ai rovers istantaneamente. Il DGPS realizza un netto miglioramento nell'accuratezza della posizione: si arriva al centimetro! Anche se molto dipende dal tipo di apparecchiatura utilizzata.

Applicazioni e limiti in campo speleologico

Il sistema GPS anche con i ricevitori più sofisticati localizza un punto con un margine di errore inaccettabile per le finalità descritte in questa dispensa (da 10 a 100 m!). Tutto però dipende sempre dalla scala: ad esempio quando sono da localizzare regioni molto vaste, in assenza di cartografia e di riferimenti specifici (capisaldi, punti noti) il GPS è sicuramente uno strumento valido. Inoltre in fase esplorativa, in ambienti scarsamente antropizzati è nettamente più comodo un apparecchietto GPS che sta più o meno in una tasca, che non i tradizionali strumenti topografici; inoltre non è influenzato dalle condizioni meteo, non richiede l'intervisibilità tra i punti e i costi per un GPS di buona qualità sono inferiori al milione. Per lavori di dettaglio, almeno per ora, il GPS non può ancora sostituire gli usuali metodi di rilevamento. Il DGPS fornisce invece misure molto precise (si può arrivare addirittura sotto il centimetro) con costi che, a seconda degli strumenti, variano dai 40 milioni in su. Vanno però tenuti presenti i seguenti inconvenienti:



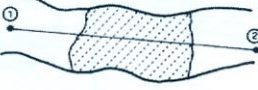
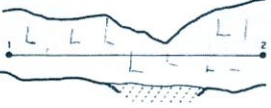






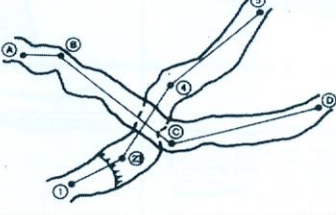
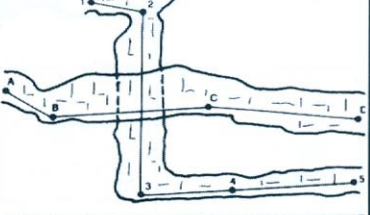
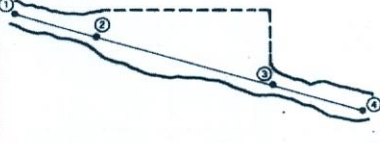
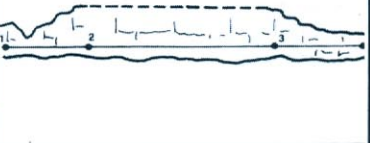


1. occorre pianificare in precedenza la posizione dei ricevitori, il percorso da seguire, i tempi necessari;
2. i dati vanno elaborati in una seconda fase;
3. i tempi di stazionamento possono essere piuttosto lunghi, in funzione della modalità operativa e degli strumenti a disposizione.

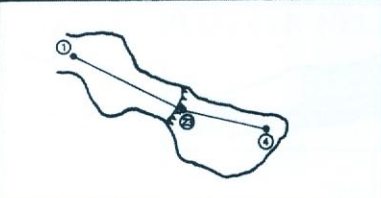
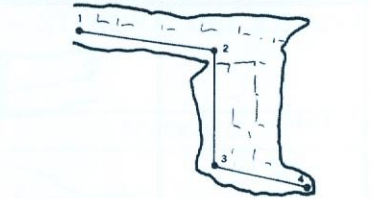
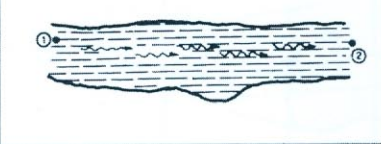
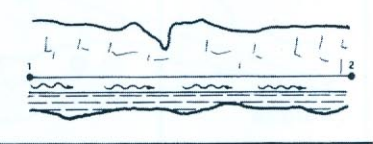
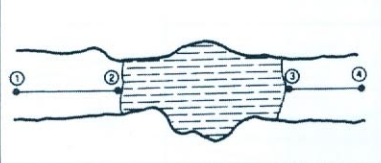
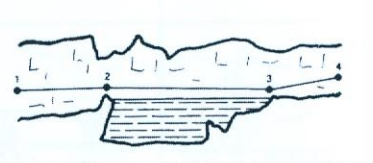
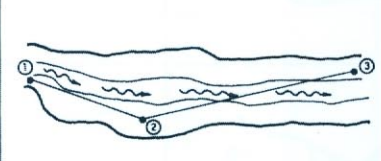
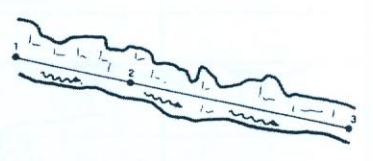
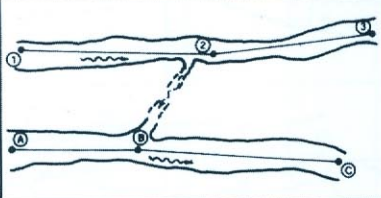
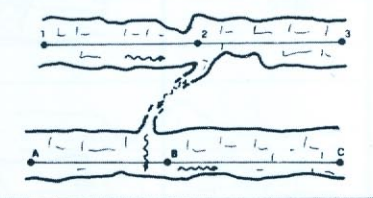
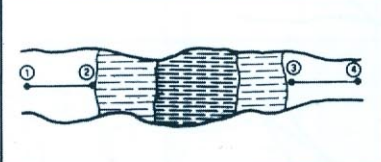
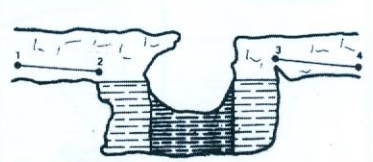
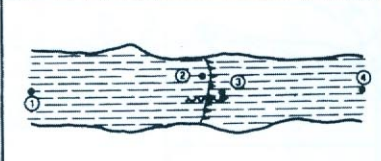
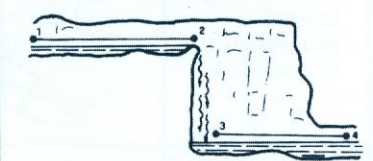
A conclusione di tutto questo discorso non vanno dimenticati gli aspetti pratici legati alla speleologia. Il GPS ha bisogno di vedere quanto più cielo possibile per mettersi in contatto con i satelliti, ha bisogno di avere l'orizzonte libero, quindi nel folto di una foresta o nelle immediate vicinanze di pareti, nel fondo dei canyon non è impiegabile, così come vicino a corpi particolarmente conduttivi (reti, profilati metallici, ...) che disturbano il segnale. In buona sostanza per ora conviene ancora avvalersi delle tecniche classiche, impegnandosi al massimo affinché le misure siano le più precise possibili con gli strumenti che si hanno a disposizione.

APPENDICE 2

ALCUNE SIMBOLOGIE UTILIZZATE NELLA STESURA DEI RILIEVI

	PIANTA	SPACCATO
Colata calcitica		
Stalagmiti		
Stalattiti		
Massi		
Neve		
Concrezioni a vaschetta con acqua		
Latte di monte		

	PIANTA	SPACCATO
Detriti		
Fanghi e argille		
Sabbie		
Guano		
Ghiaccio		
Margini sovrapposti di una cavità		
Margini indeterminati		
Probabili prosecuzioni		

	PIANTA	SPACCATO
Fig. 7 Limite di pozzo interno		
Fig. 1 Torrente a carattere perenne		
Fig. 2 Acqua stagnante o in vasche		
Fig. 3 Piccolo corso d'acqua		
Fig. 4 Tragitto presupposto delle acque		
Fig. 5 Sifone		
Fig. 7 Cascata		

Questi simboli sono tratti da: F. Bagliani et al.; Manuale di rilievo ipogeo; Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia; Trieste, 1992 (seconda edizione, pp102-111).
Una simbologia unificata è in corso di approvazione da parte dell'Unione Internazionale di Speleologia.

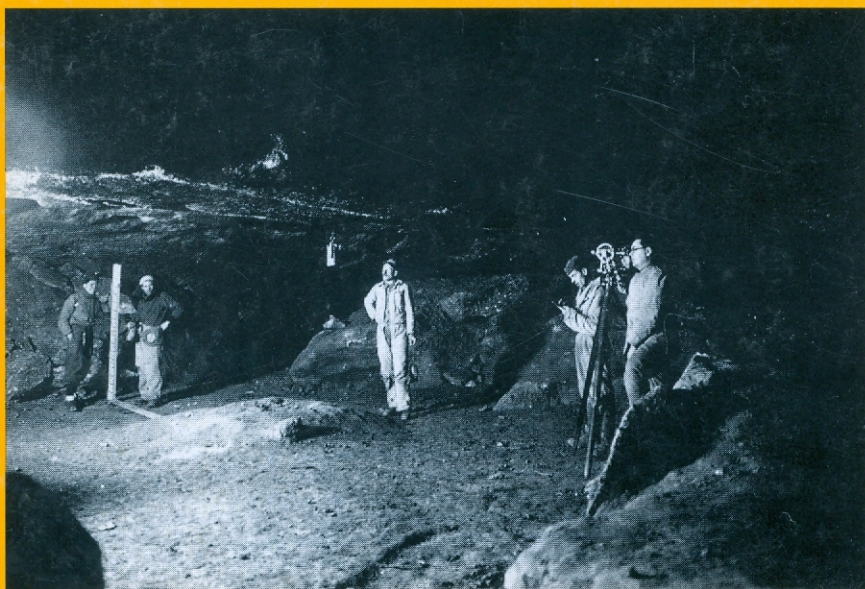


È ormai passato più di un quarto di secolo da quando, con il Manuale di Speleologia, edito dalla Longanesi, la speleologia italiana tentò di darsi un testo di riferimento complessivo sulla speleologia, intesa nei suoi vari aspetti di “discorso sul mondo sotterraneo”. Da allora le numerose scuole di speleologia in Italia hanno avvicinato al mondo delle grotte molte decine di migliaia di persone ma, stranamente, senza riprendere il progetto di dare un ausilio didattico completo a chi realizzava e seguiva i corsi.

In passato la Società Speleologica Italiana ha provveduto a coprire il settore più critico, quello delle tecniche di progressione sicura in grotta, con una serie di testi ma gran parte degli altri argomenti rimanevano totalmente scoperti.

Un paio d'anni fa il Direttivo ha deciso di rimettere mano al progetto, articolandolo in una serie completa di Quaderni Didattici. Lo scopo, naturalmente, era quello di fornire manualistica ai corsi tenuti dalla Commissione Nazionale Scuole di Speleologia della SSI, ma strada facendo ci siamo accorti che, più ambiziosamente, potevamo cercare di dare un'informazione dettagliata sul mondo delle grotte anche ad un pubblico ben più vasto, trattandone tutti gli aspetti: Geomorfologia e Speleogenesi, Rilievo, Speleologia in Cavità Artificiali, Impatto dell'Uomo sull'Ambiente, Tecniche di Base, Storia della Speleologia, Geologia per Speleologi, Clima, Reazioni a Emergenze, Primo Soccorso, Idrogeologia Carsica, Immagini, Documentazione, Organizzazione della Speleologia, Grandi Grotte del Mondo, Vita nelle Grotte, Riempimenti e altri in progetto.

Siamo sicuri che questa iniziativa sarà un passo importantissimo per una migliore conoscenza del mondo sotterraneo.



Rilievo topografico della Grotta del Farneto (Bologna) con tacheometro e stadia nel 1936.